

इलेक्ट्रॉन विवर्तन

(Electron Diffraction)

लेखक

आर० बीचि

(R. Beechin)

अनुवादक

दयाप्रसाद खण्डेलवाल, एम० एस सी०, पी एच० डी०

प्रकाशन शाखा, सूचना विभाग

उत्तर प्रदेश

प्रथम संस्करण

१९६०

मूल्य २॥)

मुद्रक

पं० पृथ्वीनाथ भार्गव,
भार्गव भूषण प्रेस, गायघाट, वाराणसी

प्रकाशकीय

विश्व के ज्ञान-विज्ञान की महत्त्वपूर्ण सामग्री राष्ट्रभाषा हिन्दी में प्रस्तुत कराने के उद्देश्य में उत्तर प्रदेश प्रज्ञासन ने अनेक मौलिक ग्रन्थों के प्रणयन एवं विशिष्ट ग्रन्थों के अनुवाद का जो महत्त्वपूर्ण निश्चय किया था, तदनुसार हिन्दी समिति के तत्त्वावधान में अब तक ३२ ग्रन्थ विविध विषयों के प्रकाशित किये जा चुके हैं तथा अन्यान्य ग्रन्थ शीघ्र निकालने का प्रयत्न किया जा रहा है।

प्रस्तुत पुस्तक हिन्दी-समिति-ग्रन्थमाला का ३२वाँ पुष्प है। यह श्री आर० वीचिंग कृत अंग्रेजी पुस्तक 'इलेक्ट्रान डिफ्रैक्शन' का हिन्दी अनुवाद है। अनुवादक श्री दयाप्रसाद खण्डेलवाल, राजकीय डिग्री कालेज नैनीताल में भौतिकी के सहायक आचार्य हैं। आपको वचन से ही हिन्दी में विशेष रुचि रही है। आप आगरा वैज्ञानिक समिति के मंत्री रह चुके हैं और आपने हाई स्कूलों के लिए 'प्रारम्भिक भौतिकी' नामक पुस्तक लिखी है। आपने बी० एस सी० कक्षाओं के लिए श्री साहा तथा श्री श्रीवास्तव की 'हीट' नामक पुस्तक का "उष्मा" के नाम में हिन्दी में अनुवाद भी किया है।

मणिभों में परमाणुओं की जमावट का अध्ययन करने के लिए एक्स-किरण विवर्तन का उपयोग बहुत पहले से होता आया है। जब मे डी ब्रोगली ने इलेक्ट्रान के तरंग-स्वरूप का प्रतिपादन किया, तब से इलेक्ट्रान विवर्तन का उपयोग भी इस कार्य के लिए होने लगा। किन्तु परमाणु एक्स-किरणों को इतनी प्रबलता से प्रकीर्णित नहीं करते जितनी प्रबलता से वे इलेक्ट्रानों को प्रकीर्णित करते हैं। फलतः पृष्ठीय रचनाओं के अध्ययन में इलेक्ट्रान विवर्तन का विशिष्ट महत्त्व है, और गर्भीय रचनाओं के अध्ययन में एक्स-किरणों का। वास्तव में इलेक्ट्रान विवर्तन का विकास इतनी दिशाओं में तथा इतनी तीव्रता से हुआ है कि इस छोटी पुस्तिका में इन सबका विवरण देना संभव नहीं है। फिर भी श्री वीचिंग ने जिन विशिष्ट विधियों का विवरण इसमें दिया है, वह उन लोगों के लिए परमोपयोगी होगा जो इस विषय में प्राप्त अब तक के परिणामों का अध्ययन कर आगे और अनुसंधान कार्य करना चाहते हैं। साथ ही, जैसा कि

लेखक ने लिखा है यह पुस्तक उन लोगों के भी बड़े काम की है, जिन्हें "इलेक्ट्रानो के तरंग-गुण के व्यापक सैद्धान्तिक परिणामों में रुचि है" या जो इनका महत्त्व समझकर इस विषय की अच्छी जानकारी प्राप्त करना चाहते हैं। आशा है, हिन्दी के पाठकों को भौतिकी की इस नयी शाखा से परिचित कराने में हमारी यह पुस्तक विशेष सहायक होगी।

भगवतीशरण सिंह

सचिव, हिन्दी समिति

प्राक्कथन

यद्यपि इलेक्ट्रान विज्ञान¹ भौतिकी की अपेक्षात्मक नयी शाखा है, तथापि पुस्तिकाओं की इस शृङ्खला में इसका समावेश समीचीन ही है। इसका दावा महत्त्व है। एक ओर यह तरंग-यांत्रिकी² के उन सिद्धान्तों का समग्र गीरा प्रमाण हमें देता है जिन पर अब समस्त परमाणवीय भौतिकी आधारित है, दूसरी ओर इसके अनुप्रयोगों³ से पृष्ठां, आणविक बनापटों⁴ और मणिभ गठन⁵ संबंधी अध्ययन का समग्र आभाप्रद मार्ग हमें प्राप्ति होगा है। इलेक्ट्रान विज्ञान में किसी पदार्थ के पृष्ठ पर परमाणुओं की जमापट के विषय में हमें यंत्र ही सूचना मिलती है, जैसे पदार्थ के आकृतन में जमापट के विषय में x -किरणों से। पृष्ठीय तथा आणविक बनापट संबंधी समस्याओं का, जो इस समय भौतिकी और रसायन के बीच के भ्रंशपूर्ण क्षेत्र में पड़ती है, जगत् कुछ वर्षों में अधिकाधिक अध्ययन होगा, और यह सम्भव है कि इनके हल निकट भविष्य के उपयोग को भौतिक विज्ञान के समग्र महत्त्वपूर्ण क्षेत्र सिद्ध हो। इसलिए यह नितान्त वांछनीय है कि इन दिशि की सम्भावनाएँ वैज्ञानिक कार्यकर्ताओं के अधिष्ठित वर्गों के सम्मुख स्पष्ट रूप में प्रस्तुत की जायें, और इस उद्देश्य के लिए यह पुस्तक बहुत ही उपयुक्त है।

यह आशा करती चाहिए कि जब तक प्राप्त हुए कणों का जो स्पष्ट वृत्तान्त यहाँ दिया गया है उसने अनेक कार्यकर्ताओं को इस आकर्षक नये करण⁶ में अन्तर् भाग्य भाजमाने की प्रेरणा मिली। यदि वे ऐसा करेंगे तो उन्हें टेक्निकल विधियों का जो विवरण श्री बीचिंग ने दिया है वह बहुत मूल्यवान् सिद्ध होगा। श्री बीचिंग ने इनमें से अनेक विधियों का स्वयं उपयोग किया है तथा अन्य में से अधिकांश को कार्य-रूप में देगने, और उनके विवरण में लगे व्यक्तियों से उनके गुणों के संबंध में विवेचन करने, का उन्हें अवसर प्राप्त हुआ है।

इलेक्ट्रान विज्ञान की टेक्नीक प्रायः कुछ कठिन मानी जाती है। जहाँ तक द्रुत इलेक्ट्रानों द्वारा पृष्ठां के अध्ययन का सम्बन्ध है यह धारणा गलत है; यह दूसरी बात

विषय-सूची

अध्याय	पृष्ठ
१ इलेक्ट्रानों का तरंग-रूप और मणिभों का ग्रेटिंग व्यवहार ..	१
डी. ब्रोगली का सिद्धान्त, संघ वेग (Group velocity), मणिभ का ग्रेटिंग-मा व्यवहार, लावे प्रतिवध (Laue conditions) ग्रैंग का नियम, रचना गुणांक	
२ प्रारंभिक प्रयोगात्मक कार्य	१३
डेविसन और जर्मर के प्रयोग, जी० पी० टामसन का कार्य, किकुची के अन्नक प्ररूप (Mica patterns), किकुची रेखाओं का मूल, डी ब्रोगली नियम का और सत्यापन	
३ पतले पटलों के पार-संचरण (Transmission) में विवर्तन ..	२९
एकाकी मणिभ पटल, एक छोटा मणिभ का गुटका क्रॉस-ग्रेटिंग (Cross-grating) के रूप में, मणिभ आकार का प्रभाव, दैशितता (Orientation), परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक (Atomic scattering factor), परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक का निर्धारण, एक-परमाणवीय नैसों में प्रकीर्णन, स्वतंत्र अणुओं द्वारा प्रकीर्णन, मार्क और बीलैं की विधि	
४ परावर्तन द्वारा विवर्तन	५०
एकाकी मणिभ विदलन फलक (Cleavage face), विवर्तन के प्रतिवधों पर विचार करने की किर्चनर की विधि, आन्तरिक विभव (Inner potential), आपतन कोण के साथ आभासी (Apparent) आतरिक विभव का परिवर्तन, मद इलेक्ट्रानों का विवर्तन, इलेक्ट्रान विवर्तन का विक्षेपण सिद्धान्त (Dispersion theory), किकुची रेखाएँ और उनसे संबंधित पट्ट (Related bands), किकुची रेखाओं का अन्वालोप (Envelope), ऐंचित (Etched) एकाकी मणिभ, प्रतिलोम लैटिस (Reciprocal lattice), बहुमणिभो गुटका (Polycrystalline block)	

अध्याय

५. उपकरण और टेक्नीक

...

...

पृष्ठ

७८

समांग दंड (Homogeneous beam) का उत्पादन, छन्ने (Filters), सतृप्त द्विधोद (Saturated diode), सतृप्त ऋणाग्र (Cathode) नलिका, चुम्बकीय संगमन (Focussing), फिल्ट्र का कैमरा, तुलनाकारी शटर (Shutter), दोहरा त्वरण (Acceleration) उपकरण, क्रिया की शीघ्रता और सुविधा-द्विषयक व्यापक विचार, मद इलेक्ट्रानों के लिए उपकरण

६. अनुप्रयोग (Applications)

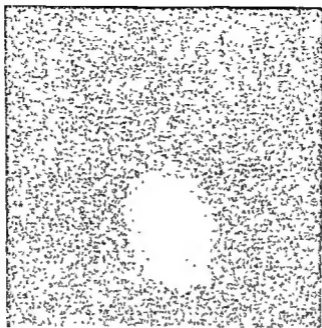
...

...

९४

इलेक्ट्रान विवर्तन द्वारा परीक्षण के उपयुक्त समस्या का स्वरूप, लिक्विड स्नेहन (Graphite lubrication), तैल और मीज पटल, मीज की आणव तहें (Molecular layers), धातुओं पर आक्साइड, अन्य अनुप्रयोग, पृष्ठीय रचना

चित्र १५—'नेचर' (Nature) के सम्पादक की कृपापूर्ण अनुमति से तथा चित्र १६ और १७ प्रोसीडिंग्स आफ रॉयल सोसाइटी' (Proceedings of the Royal Society) के सम्पादक की और चित्र ३४-३८ फ़ैराडे सोसाइटी के सचिव की कृपाळु अनुमति से प्रस्तुत किये गये हैं।

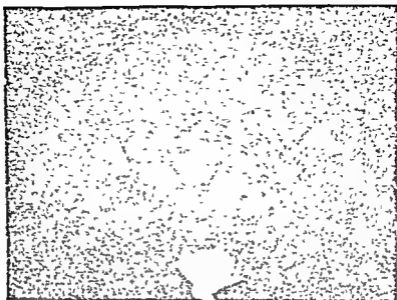


1. अभ्रक (mica) के लिए किडुची "N-प्ररूप" (N-pattern)-
जी. आइ. फ़िल्म (Film) ऐसी मोटाई का है कि
"L-प्ररूप" का विकास आरम्भ ही हो रहा है।

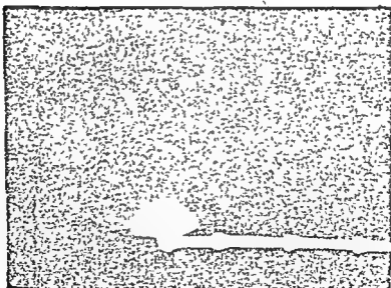




2. बहु-मणिभी (poly crystalline) स्वर्ण-पटल के पार-
संचरण (transmission)—जी पी टामसन



3. यनाद ब्लेंड (zinc blende) विदलन फलक (cleavage face)
से परावर्तन प्रकाश—जे. आर. डिजमैन



4. ताँबे के ऐचिड (etched) एकाकी मणिम बा
(III) फलक—डब्लू. कौकेन



अध्याय १

इलेक्ट्रानों का तरंग रूप और मणिभों का ग्रैटिंग व्यवहार

इलेक्ट्रान पर तरंग गुणों का आरोप सर्वप्रथम डी ब्रोगली ने प्रकाश के तरंग और कण गुणों में सामंजस्य स्थापित करने के यत्न में किया था। कृष्णपिण्ड विकिरण^१ सम्बन्धी कार्य ने उसे प्रकाश को तरंगों द्वारा नियंत्रित क्वांटा^२ मानने को प्रवृत्त किया था। बाद में उसने इस सिद्धान्त को द्रव्य कणों पर भी लागू कर दिया, मूलतः ज्यामितीय प्रकाशिकी^३ और सनातन गतिकी^४ की घनिष्ट समता के फल-स्वरूप।

यहाँ तरंग-समीकरण की व्युत्पत्ति^५ के लिए डी ब्रोगली की विधि की एक संक्षिप्त रूप-रेखा दी जायेगी। तर्क एकदम कठोर नहीं है, किन्तु कम अमूर्त^६ होने के कारण यह तर्क, थोड़ो-बड़ो तथा अन्य लोगों द्वारा बाद में प्रयुक्त विधियों की अपेक्षा, अधिक सरलता से समझ में आता है। चाहे समीकरण की व्युत्पत्ति कैसे ही की जाय, वह कुछ स्वेच्छित मान्यताओं^७ पर आधारित रहता है, जिनका औचित्य इसीलिए मान्य होता है कि अनेक क्षेत्रों में उनसे प्राप्त फल सही उतरते हैं।

अपने मौलिक तर्क में डी ब्रोगली^८ ऊर्जा^९ और आवृत्ति^{१०} के सम्बन्ध को मूलभूत^{११} मानता है, और इसलिए वह कण की विराम ऊर्जा^{१२} के साथ एक आवृत्ति ν_0 † सलग्न करता है—

$$h\nu_0 = m_0c^2, \quad \dots \dots \dots (1)$$

जहाँ h प्लांक नियतांक है, m_0 कण की विराम सहति^{१३} है, और c प्रकाश का वेग है।

इन आवृत्ति की वास्तविक प्रकृति निर्दिष्ट नहीं की जाती, किन्तु इसे इस रूप में प्रतिदर्शित किया जा सकता है।

$$\psi = f(x, y, z) \text{ ज्या } 2\pi\nu_0 t. \quad \dots \dots \dots (2)$$

1. Black body radiation 2. Quanta 3. Optics 4. Classical dynamics
5. Derivation 6. Abstract 7. Arbitrary postulates 8. Energy 9. Frequency
10. Fundamental 11. Rest energy 12. Rest mass † यह ग्रीक अक्षर न्यू है ।

यदि z दिशा में v वेग से चलते अक्षों के लिए इसका लोरेंत्स रूपान्तर^१ किया जाय, तो

$$z_0 = \frac{z - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}} \dots\dots\dots (3)$$

$$t_0 = \frac{t - \frac{\beta z}{c}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \dots\dots\dots (4)$$

जिसमें $\beta = \frac{v}{c}$, जैसा आपेक्षिकतावादी सिद्धान्त^१ में होता है।

फलतः ψ के लिए व्यंजक हो जाता है—

$$\psi = f\left(x, y, \frac{z - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}\right) \text{ जया } \left\{ \frac{2\pi y_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \left(t - \frac{\beta z}{c} \right) \right\} \dots\dots\dots (5)$$

इस व्यंजक का रूप है—

$$\psi = A \text{ जया } 2\pi \gamma \left(t - \frac{z}{V} \right) \dots\dots\dots (6)$$

जो z अक्ष की दिशा में V वेग से चलती तरंग को प्रदर्शित करता है, और निम्नांकित प्रकार के तरंग समीकरण का एक हल है—

$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \dots\dots\dots (7)$$

यदि A एक स्थिरांक हो, या $\nabla^2 A = 0$, जहाँ V तरंग के वेग के लिए माना गया है मुलना से हम देखते हैं कि व्यंजक (5) द्वारा निरूपित तरंग का वेग

$$V = \frac{c}{\beta} = \frac{c^2}{v} \dots\dots\dots (8)$$

होगा, जबकि आवृत्ति^१ होगी

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \dots\dots\dots (9)$$

ज्यों-ज्यों v बढ़ेगा, तरंग-दैर्घ्य λ कम होगा, क्योंकि

$$\lambda = \frac{V}{\nu} = \frac{c^2}{v} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\gamma_0} = \frac{h}{m_0 v} \sqrt{1-\beta^2} = \frac{h}{mv},$$

$$\lambda = \frac{h}{\text{सवेग}} \dots\dots\dots (10)$$

जब कण वेग v से चल रहा हो, तो उसकी ऊर्जा W को $h\nu$ के बराबर सिद्ध किया जा सकता है—

$$W = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{h\nu_0}{\sqrt{1-\beta^2}} = h\nu \dots\dots\dots (11)$$

जिस तरंग समीकरण का, आयात¹ अचर² होने की अवस्था में, (5) एक हल है, उसका रूप होगा

$$\nabla^2 \psi - \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0,$$

या, समीकरण (8) के कारण,

$$\nabla^2 \psi - \frac{v^2}{c^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \dots\dots\dots (12)$$

यदि इलेक्ट्रॉन की समस्त ऊर्जा E है और स्थितिज ऊर्जा³ V , तो उसकी गतिज ऊर्जा⁴ है

$$\frac{1}{2} mv^2 = E - V,$$

$$\therefore v^2 = \frac{2}{m} (E - V) \dots\dots\dots (13)$$

इसे (12) में रखने से

$$\nabla^2 \psi - \frac{2}{mc^2} (E - V) \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = 0 \dots\dots\dots (12 \text{ क})$$

यदि (5) इसका एक हल है तो हम देखते हैं कि

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = -\psi \frac{4\pi^2 \nu_0^2}{1-\beta^2}.$$

अतः आयाम समीकरण¹ (12क) को इस प्रकार लिख सकते हैं—

$$\nabla^2 \psi + \frac{4\pi^2 \gamma_0^2}{1-\beta^2} \frac{2}{mc^4} (E-V) \psi = 0.$$

किन्तु $\frac{\gamma_0}{1-\beta^2} = \frac{(m_0 c^2)}{h} \cdot \frac{1}{1-\beta^2} = \frac{m^2 c^4}{h^2}$, अतः

$$\nabla^2 \psi + \frac{8\pi^2 m (E-V)}{h^2} \psi = 0. \dots \dots \dots (14)$$

जो तरंग समीकरण का सामान्यतः व्यवहृत स्वरूप है।

तरंगों में कण की स्थिति—अब तक हमने केवल समतल तरंगों की एक शृंखला पर विचार किया है, जो V वेग से चलती है। कण के विषय में हम केवल इतना जानते हैं कि वह तरंगों की दिशा में ही v वेग से चलता है। उसकी स्थिति का आगे निर्देश करने के लिए डॉ ब्रोगली उस कण के साथ एक तरंग-मुट्ट² संलग्न करता है, जो परस्पर बहुत निकट की आवृत्तियों वाली तरंगों के एक संघ³ का बना होता है। तब इनके फलित आयाम⁴ में जो एक सुस्पष्ट महत्तम⁵ बनता है वही द्रव्य कण की स्थिति वाला बिन्दु है, यह माना जा सकता है।

इस विषय में यह दृष्टिकोण अपनाने की प्रेरणा इस बात से मिलती है कि सनातन यांत्रिकी में कण की गतिज ऊर्जा का सवेग के प्रति अवकल गुणक⁶ हमें कण का वेग देता है। न्यूटनी यांत्रिकी में

$$\frac{d(\frac{1}{2}mv^2)}{d(mv)} = v,$$

जब कि तरंग सिद्धान्त में (10) और (11) के कारण यह हो जाता है—

$$v = \frac{dW}{d(mv)} = \frac{d(h\nu)}{d(h/\lambda)} = \frac{d\nu}{d(\frac{v}{V})} \dots \dots \dots (15)$$

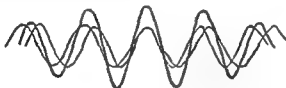
नीचे बताया जायगा कि व्यंजक (15), और v से सूक्ष्मतरतः⁷ भिन्न आवृत्तियों वाली तरंगों के संघ के वेग का व्यंजक, अनन्य है।

$$\text{अब, } \lambda = \frac{h}{mv} \text{ और } V = \frac{c^2}{v}, \text{ अतः } V = \frac{c^2 m}{h} \lambda$$

1. Amplitude equation 2. Wave packet 3. Group 4. Amplitude
5. Pronounced maximum 6. Differential coefficient 7. Infinitesimally

इससे स्पष्ट है कि सघ की तरंगों में विक्षेपण^१ होगा, और अधिकतर तरंगदैर्घ्य की तरंगें तीव्रतर चलेंगी।

संघ वेग^२—दो ऐसी तरंगों पर विचार कीजिए जिनका तरंगदैर्घ्य थोड़ा-सा भिन्न हो, और मान लीजिए कि वे आकाश^३ में किसी बिन्दु पर एक ही कला^४ में हैं, जैसा आकृति (१) में दिखाया गया है। गहरी रेखा फलित आयाम दिखा रही है। यदि तरंगों में ऐसा विक्षेपण है, जिस पर हम विचार कर रहे हैं, तो ज्यों ज्यों फलित तरंग आगे बढ़ती है, उसके अधिकतम आयाम का बिन्दु, किसी एक तरंग की किसी एक चोटी पर माने गये मूलबिन्दु की तुलना से, पीछे की ओर खिसकता जायेगा। किसी स्थिर मूलबिन्दु से फलित तरंग का महत्तम बिन्दु वेग u से आगे बढ़ेगा, जिसे सघ-वेग कहते हैं, और यह दोनों तरंगों के वेग से कम होगा।



आकृति १—तरंग-सघ^५।

मान लीजिए उन दोनों तरंगों का योग इस प्रकार प्रतिदर्शित किया जाता है—

$$\begin{aligned}
 A &= \cos 2\pi \gamma \left(t - \frac{z}{V} \right) + \cos 2\pi \gamma' \left(t - \frac{z}{V'} \right) \\
 &= 2 \cos 2\pi \left\{ \frac{\gamma + \gamma'}{2} t - \frac{z}{2} \left(\frac{\gamma}{V} + \frac{\gamma'}{V'} \right) \right\} \\
 &\quad \cos 2\pi \left\{ \frac{\gamma - \gamma'}{2} t - \frac{z}{2} \left(\frac{\gamma}{V} - \frac{\gamma'}{V'} \right) \right\}.
 \end{aligned}$$

सीमान्त अवस्था $\gamma \rightarrow \gamma'$ में यह हो जायगा—

$$\begin{aligned}
 A &= 2 \cos 2\pi \left(\gamma t - z \frac{\gamma}{V} \right) \\
 &\quad \cos 2\pi \left\{ \frac{d\gamma}{2} t - \frac{z}{2} d \left(\frac{\gamma}{V} \right) \right\}.
 \end{aligned}$$

इस व्यंजक का दूसरा पद एक आयाम परिवर्तन को निरूपित करता है, जो तरंग की दिशा में वेग v से चलता है, जहाँ

$$v = \frac{dy}{\left(\frac{y}{V}\right)}$$

इस प्रकार हम देखते हैं कि जिस प्रकार के तरंगों के संघ पर हमने विचार किया है, उसके वेग का व्यंजक और कण के वेग का व्यंजक (15) अनन्य है।

सिद्धान्त (ध्वोरी) को सम्पूर्ण करने के लिए एक और मान्यता जोड़ना आवश्यक है—यह कि किसी बिन्दु पर कण के प्रकट होने की प्रायिकता^१ उस बिन्दु पर तरंगों की तीव्रता^२ के अनुपात में होती है। यह दृष्टिकोण प्रकाश के लिए भी आवश्यक होता है, जब तरंग और क्वांटम सिद्धान्तों में सामंजस्य करना होता है।

यह ध्यान देने योग्य बात है कि डी ब्रोगली तरंगों का वेग प्रकाश के वेग से अधिक होता है—

$$V = \frac{c^2}{v} > c.$$

इसका आपेक्षिकतावादी^३ सिद्धान्त से, जिस पर यह सिद्धान्त आधारित है, कोई वैपरीत्य^४ नहीं है, क्योंकि इन तरंगों का कोई स्थूल अस्तित्व नहीं है। जहाँ तक प्रकाश का सम्बन्ध है, v को c के बराबर होना चाहिए, जिसका अर्थ है कि क्वांटा उसी वेग से बढ़ते हैं जिससे तरंगें। फलतः यह मानना आवश्यक हो जाता है कि क्वांटा में सूक्ष्मतरंगः अल्प^५ विराम सहति^६ होती है।

तो ये हैं वे विचार जिन्हें डी ब्रोगली ने १९२४ में प्रस्तुत किया, और जिन्हें १९२९ में श्रोडिंजर ने परमाणु पर लागू किया। उनके कार्य के फलस्वरूप बोहर सिद्धान्त की पूर्णक क्वांटम संख्या n के स्थान पर $\sqrt{n(n+1)}$ का आना भली भाँति समझाया जा सका। १९२८ में डी ब्रोगली के सिद्धान्त की प्रत्यक्ष पुष्टि प्राप्त हो गयी—अमेरिका में डेविसन और जर्मर द्वारा तथा एनरडीन में जी. पी. टॉमसन द्वारा, लगभग समकालिक ही, किये गये प्रयोगों से। किसी भी तरंग गति का चरम परीक्षण

1. Probability 2. Intensity 3. Relativity 4. Conflict 5. Infinitesimally small 6. Rest mass

व्यतिकरण¹ प्रयोग है, और ये अन्वेषक मणिभों को त्रिदिश³ प्रोटिंग के रूप में काम लेकर इलेक्ट्रानों के दंडों¹⁰ को विवर्तित¹¹ करने में सफल हुए।

मणिभ एक प्रोटिंग के रूप में—जब पहली बार यह कल्पना की गयी थी कि इलेक्ट्रानों में सम्भवतः तरंग-गुण हों, उससे कुछ वर्ष पहले बी. लावे ने सुझाया था कि एक्स-किरणों को विवर्तित करने के लिए मणिभों का प्रयोग किया जाय, और इसके फलस्वरूप एक्स-किरण मणिभवीक्षण¹² का विस्तृत विषय विकसित हुआ। इस प्रकार पहले से ही मणिभ के प्रोटिंग जैसे व्यवहार का बहुत ज्ञान उपलब्ध था। यहाँ इनमें से कुछ विचारों का उल्लेख लाभप्रद होगा, क्योंकि उन्हीं पर इलेक्ट्रान विवर्तन का प्रारम्भिक कार्य आधारित था।

मणिभों में बनावट तीनों दिशाओं में आवर्तवत्¹³ दोहरती जाती है। मान लीजिए, हम बनावट के प्रत्येक दोहराने में समत¹⁴ बिन्दुओं पर विचार करते हैं। तो ये बिन्दु एक नियमित ग्रहण¹⁵ बनायेंगे जिसे "मणिभ लैटिस"¹⁶ कहा जाता है। यदि हम इन बिन्दुओं को समांतर¹⁷ रेखाओं के किन्हीं तीन सघातों¹⁸ द्वारा सम्बद्ध कर दें तो समपङ्कलको¹⁹ का एक व्यूह बन जायगा। ऐसे एक समपङ्कलको को एकाक कोषा²⁰ कहते हैं, क्योंकि यही वह अल्पतम अंग है जिसके दोहराने से सम्पूर्ण बनावट को खड़ा किया जा सकता है।

ये समपङ्कलको अनन्त प्रकार से बनाये जा सकते हैं, क्योंकि लैटिस बिन्दुओं में गुजरती किन्हीं तीन समांतर रेखाओं के सघातों में ये परिस्तीमिन²¹ हो सकते हैं। किन्तु प्रत्येक दशा में कोषा (कोषा) का आयतन वही होता है।

द्योतन के लिए एकाक कोषा की तीन परस्पर मिलनेवाली कोण²² के समान दिशाओं को मणिभ अक्षवर्ग²³ कहा जाता है, और इन कोणों की श्रृंखलाओं को लम्बाई कहा जाता है। लैटिस बिन्दुओं के किसी सघात में गुजरने वाले कल्पना कीजिए जिसे एक "व्यूह तल"²⁴ कहते हैं। यदि अक्षा²⁵ है, और यदि यह तल लैटिस अक्षों को (मूलबिन्दु माने गए) है, तो इस तल का समान²⁶ 1, 1, 1 एकाक दूरी पर काटता है, तो इस तल का समान²⁷ 1, 1, 1

1. Interference 2. Three dimensional 3. Isotropic 4. Crystallography 5. Periodically 6. Hexagonal 7. Hexagonal 8. Hexagonal 9. Hexagonal 10. Crystal lattice 11. Periodically 12. Hexagonal 13. Hexagonal 14. Unit cell 15. Bounded 16. Hexagonal 17. Hexagonal 18. Hexagonal 19. Hexagonal 20. Hexagonal 21. Hexagonal 22. Hexagonal 23. Hexagonal 24. Hexagonal 25. Hexagonal 26. Hexagonal 27. Hexagonal

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} + \frac{z}{c} = 1 \dots\dots\dots$$

मान लीजिए $x' = \frac{x}{a}, y' = \frac{y}{b}, z' = \frac{z}{c},$

तो $\frac{x'}{1} + \frac{y'}{1} + \frac{z'}{1} = 1,$

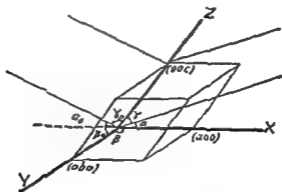
और $x'mn + y'nl + z'lm = lmn;$

यह हो जाता है

$$hx' + jy' + kz' = N = (\text{एक पूर्णांक}) \dots\dots\dots$$

जिसमें h, j, k के बीच कोई साव्य गुणक¹ नहीं है। इन h, j, k को उपयुक्त² तथा उसके समान्तर तलों के मिलर सूच्यांक³ कहा जाता है, और वास्तव में ये बताते हैं कि एकांक कोषा⁴ के x, y, z कोरों की ये तल-संपात कितने खण्डों में बाँटते हैं। यह बताया जा सकता है कि ऐसे एक तल-संपात में सभी लैटिस बिन्दु समाविष्ट जाते हैं। जो तल-संपात दूर दूर होते हैं उनमें प्रति बर्ग क्षेत्रफल में अनेक बिन्दु अवस्थित होते हैं, और जो तल-संपात पास-पास होते हैं उनमें कुछ ही। N के क्रम मानों से प्राप्त तल समांतरिय⁵ होंगे।

तरंगों का विवर्तन—किसी भण्ड द्वारा तरंगों के विवर्तन पर विचार करने हमें यह प्रतिबन्ध⁶ नियत करना है कि समस्त लैटिस बिन्दुओं से प्रकीर्णित⁷ तरंगिकाएँ



आकृति २—एक एकांक कोषा के लिए विवर्तन का प्रतिबन्ध।

1. Common factor 2. Miller indices 3. Unit cell. 4. Equidistant
5. Condition 6. Scattered 7. Wavelets

प्रवलन^१ करें। मान लीजिए हम एक सरल कोषा पर विचार करें, जिसमें केवल कोनों पर ही प्रकीर्णक^२ बिन्दु हैं (जो यह मानने के तुल्य है कि प्रत्येक कोषा में एक ही बिन्दु है), और उस पर समतल तरंगों को गिरने दें। मान लीजिए इस आपाती^३ तरंगाम्र^४ का अभिलम्ब तीन अक्षों से कोण $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ बनाता है, और जैसा आकृति २ में बताया गया है, अक्षों से α, β, γ कोण बनाती समांतर प्रकीर्णित किरणों के प्रवलन का प्रतिबध शात करना है।

एक मूलबिन्दु से प्रकीर्णित किरण और एक $(a, 0, 0)$ बिन्दु से प्रकीर्णित किरण प्रवलन करें, इसके लिए आवश्यक है कि इन दो किरणों का पथान्तर m (व्युज्या α_0 —व्युज्या α) तरंग-दैर्घ्य का पूर्णांक गुणक हो। ऐसे ही प्रतिबध बिन्दु $(0, b, 0)$ और $(0, 0, c)$ के लिए लागू हैं।

इसलिए यदि प्रतिबध

$$\left. \begin{aligned} a(\cos \alpha_0 - \cos \alpha) &= l\lambda \\ b(\cos \beta_0 - \cos \beta) &= m\lambda \\ c(\cos \gamma_0 - \cos \gamma) &= n\lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

एक साथ पूरित हों, तो मणिभ के सभी लैटिस बिन्दुओं से प्रकीर्णित किरणें प्रवलन करेंगी, क्योंकि किसी भी बिन्दु पर पूर्णांक चरणों^५ से पहुँचा जा सकता है, और प्रत्येक चरण में पथान्तर पूर्णांक तरंग-दैर्घ्यों के बराबर है। प्रकीर्णित किरणों को समान्तर मानते हैं, क्योंकि प्रभाव मणिभ से बहुत दूरी पर ही प्रेषित^६ किये जाते हैं।

क्योंकि α, β, γ परस्परवलम्बी हैं इसलिए उपर्युक्त बन्धनवर्ग $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ तथा λ के कुछ नियत मानों से ही पूरित हो सकते हैं। किसी एक महत्तम^७ के लिए जो अंक l, m, n आते हैं उन्हें लावे अंक^८ कहा जाता है।

डब्लू. एल. ब्रैग ने विवर्तित दृष्टि^९ की प्राप्ति के प्रतिबन्ध को एक बड़े सरल रूप में व्यवस्थित किया है। एक ऐसा बिन्दु $x' y' z'$ कल्पित कीजिए कि उससे α, β, γ दिशा में प्रकीर्णित किरणें और मूलबिन्दु से उसी दिशा में प्रकीर्णित किरणें पथान्तर शून्य हो। तब

$$x' a (\cos \alpha_0 - \cos \alpha) + y' b (\cos \beta_0 - \cos \beta) + z' c (\cos \gamma_0 - \cos \gamma) = 0,$$

$$\text{या } \lambda (lx' + my' + nz') = 0$$

यह समीकरण एक ध्रुव-तल^१ का प्रतिदर्शन करता है। यदि किसी तल के लिए, जिन पर बिन्दुओं की परिमित गणना स्थित हों, हम हाइजिन रचना लागू करें, तो परावर्तित किरण की दिशा ही ऐसी होगी कि विभिन्न बिन्दुओं से प्राप्त किरणों में पथान्तर शून्य हों। इसलिए किसी एक तल के सब बिन्दुओं से प्रकीर्णित तरंगिकाओं के प्रचलन की दिशा यही है जो परावर्तित किरण की दिशा है; और यही प्रतिबंध उनमें समांतर प्रत्येक तल के लिए पूरित होगा। अब इन दिशा में समस्त तरंगिकाओं के प्रचलन के लिए प्रतिबंध दृष्टाना मात्र यह जाता है कि उत्तरांतर समांतर तलों से परावर्तित तरंगों परस्पर प्रचलन करें।

यह प्रतिबंध सरलता से प्राप्त हो जाता है।

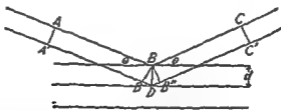
आकृति ३ में AB और $A'B'$ आपाती तरंगान्न AA' के अभिलम्ब हैं। यदि B और D दो निकटवर्ती तलों पर सगत बिन्दु हैं, तो किरण ABC और $A'B'DB'C'$ के बीच पथान्तर होगा

$$B'D + DB' = 2d \text{ जहाँ } 0$$

अतः उत्तरोत्तर तलों से परावर्तित किरणें प्रचलन करें इसका प्रतिबंध होगा कि यह पथांतर तरंग-दैर्घ्य के पूर्णांक गुणक के बराबर हों, अर्थात्

$$2d \text{ जहाँ } 0 = N\lambda \dots\dots\dots (4)$$

यह ग्रैग नियम कहलाता है। प्रकाशिकी^२ में रेशिल ग्रेटिंग^३ की तुलना में N को "परावर्तन की कोटि"^४ कहा जाता है।



आकृति ३—ग्रैग प्रतिबंध।

समीकरण (4) को काम लाने के लिए तलों के अन्तरण^५ को जानना आवश्यक है। सार्व रूप से, अक्षों के बीच के कोण λ, μ, γ हों तो—

1. Net plane 2. Optics 3. Line grating 4. Order of reflection
5. Spacing

$$d^2 = \frac{1 - \cos^2 \lambda - \cos^2 \mu - \cos^2 \gamma + 2 \cos \lambda \cos \mu \cos \gamma}{\left\{ \frac{h^2}{a^2} \cos^2 \lambda + \frac{j^2}{b^2} \cos^2 \mu + \frac{k^2}{c^2} \cos^2 \gamma + \frac{2hj}{ab} (\cos \lambda \cos \mu \cos \gamma - \cos \gamma \gamma) + \frac{2jk}{bc} (\cos \gamma \gamma \cos \mu - \cos \lambda \lambda) + \frac{2kl}{ca} (\cos \lambda \lambda \cos \gamma - \cos \mu \mu) \right\}} \dots \dots \dots (5)$$

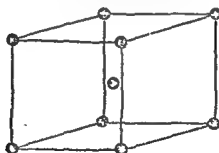
समकोणीय अक्षों के लिए द्रैग नियम हो जाता है —

$$2 \text{ ज्या } \theta = \lambda \sqrt{\frac{l^2}{a^2} + \frac{m^2}{b^2} + \frac{n^2}{c^2}} \dots \dots \dots (6)$$

और $a = b = c$ होने पर

$$2a \text{ ज्या } \theta = \lambda \sqrt{l^2 + m^2 + n^2} \dots \dots \dots (7)$$

रचना गुणांक^१—अब तक हमने एक ही प्रकीर्णक^२ बिन्दु धारण करनेवाली कोषा^३ पर विचार किया है। जब कोषा में अनेक बिन्दु हो तो उपर्युक्त विश्लेषण से प्रत्येक कोषा के सगत बिन्दुओं से प्राप्त तरंगिकाओं के प्रबलन या ही प्रतिबन्ध प्राप्त होता है। एक ही कोषा के विभिन्न अंगों से प्राप्त तरंगिकाओं में परस्पर व्यतिकरण^४ भी होगा, और फलतः जो प्ररूप प्राप्त होता है उसकी विभिन्न कोटियों^५ में तीव्रता सम्बन्धी रूपांतर हों जायेगा। इस प्रभाव से कभी-कभी तो कुछ कोटियाँ पूर्णतः लुप्त हो जाती हैं।



आकृति ४—पिड-केन्द्रीय घनक।

इस बात के उदाहरण स्वरूप एक पिंड-केन्द्रीय^१ घनक वर्ग^२ के मणिम पर विचार कीजिए। ऐसे मणिम की एकांक कोषा एक घनक^३ नहीं है। वल्कि लैटिस की आकृति^४ में बताये गये स्वरूप की कोषाओं से बना मान सकते हैं। कोषा के केन्द्र पर भी एक प्रकीर्णक बिन्दु है, ठीक वैसा ही जैसा प्रत्येक कोने पर है। यह तुरंत स्पष्ट होगा कि घनक के फलक^५ के समांतर तलों के लिए विपरीत कोटियों^६ के परावर्तन नष्ट हो जायेंगे, क्योंकि तलों के अन्तरण^७ घनक की कोर^८ के आधे होंगे। सावन्तः, यदि समीकरण (३) को संतुष्ट करनेवाले लावे अंक l, m, n हैं, तो कर्ण के दो सिरों से उत्पन्न किरणों के बीच पथांतर होगा $\lambda (l+m+n)$, और मूल बिन्दु और केन्द्र से उत्पन्न किरणों के बीच पथांतर होगा $\frac{1}{2}\lambda (l+m+n)$, अतः यदि केन्द्र बिन्दुवाली तरंगिका को कोनों वाली से समान कला में^९ होना है तो $l+m+n$ सम^{१०} होना चाहिए। जिन विवर्तन महत्तमों^{१०} के लिए यह प्रतिबंध पूरित नहीं होता वे नष्ट हो जायेंगे।

संदर्भ

क. Louis de Broglie, "Dissertation" Masson, Paris, 1924;
Phil. Mag., 47, 446, 1924; *Ann. Phys.*, 3, 22, 1925.

1. Body-centred 2. Cubic type 3. Cube 4. Face 5. Odd orders
6. Spacings 7. Edge 8. In phase 9. Even 10. Diffraction maxima

अध्याय २

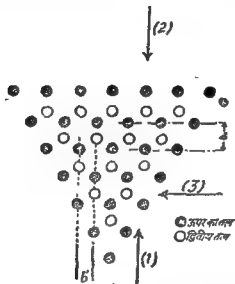
प्रारंभिक प्रयोगात्मक कार्य

इलेक्ट्रान विवर्तन पर पहला प्रकाशित प्रयोगात्मक कार्य डेविसन और जर्मर^१ का था। उन्होंने मंद इलेक्ट्रानों का एक समाग दंड^२ निकल के एक एकाकी मणिभ के (III) पृष्ठ पर गिराया, और प्रकीर्णित किरणों की तीव्रता का अध्ययन एक फौरडे बेलन^३ सग्राही से किया जो एक सुग्राही धारामापी^४ से संबंधित था। यद्यपि यह कार्य बड़े ऐतिहासिक महत्व का है, तथापि यहाँ इस पर केवल संक्षिप्त ही विचार किया जायगा, क्योंकि इस विषय का बाद का अधिकांश विकास द्रुत इलेक्ट्रानों से ही हुआ है, मंद इलेक्ट्रानों से नहीं, जिन्हें डेविसन ने प्रयुक्त किया था। डेविसन के प्रयोगों में समस्त उपकरण को पूर्णतः बन्द, उच्चतः निर्वातित^५ और विगंसित^६ किया जाता था। एक टगस्टन तंतु से प्राप्त इलेक्ट्रानों को स्थिर वैद्युत बलक्षेत्र^७ द्वारा स्वरित^८ किया जाता था। यह क्षेत्र अनेक पट्टिकाओं के बीच स्थापित किया जाता था, और प्रत्येक पट्टी के बीच एक बारीक रंघ्र होता था जो एक सकरे दंड का परिसीमन^९ करता था। यह इलेक्ट्रान दंड मणिभ के पृष्ठ पर गिरता था, जिसे दंड के समांतर अक्ष पर घुमाया जा सकता था। प्रयुक्त वोल्टता का परास^{१०} लगभग ३०-६०० वोल्ट था, और त्वारक की वोल्टता के ९/१० के बराबर एक विपरीत विभव^१ सग्राही के भीतरी और बाहरी प्रकोष्ठों के बीच लगाया जाता था, ताकि अपनी ऊर्जा का १/१० से अधिक अंश खो देनेवाले इलेक्ट्रान एकत्र न हो पायें। इस प्रकार केवल वे इलेक्ट्रान जिन्होंने ऊर्जा नहीं खोयी है, और फलतः जिनका तरंग-दैर्घ्य परिवर्तित नहीं हुआ है, इस कार्य में प्रेषित किये गये। सग्राही को समजित^१ करके भिन्न-भिन्न कोणों पर प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों का प्रेक्षण किया जा सकता था। इसके लिए केवल उपकरण की धारणकर्ता नली को झुकाना

1. Homogeneous beam 3. Sensitive galvanometer 3. Evacuated
4. Degassed 5. Electrostatic field 6. Accelerate 7. Define 8. Range
9. Potential 10. Adjust

पड़ता था, और मणिम को समुचित दिग्ग^१ पर घुमाने के लिए भी ऐसी ही क्रिया की जाती थी।

क्रिया-विधि इस प्रकार थी कि मणिम और संग्राही की एक सस्थिति^२ के लिए तीव्रता और वोल्टता के बीच एक वक्र खींचा जाता था। ऐसे अनेक वक्र संग्राही की विभिन्न सस्थितियों के लिए प्राप्त कर लिये जाते थे, और फिर इनसे एक-एक नियत वोल्टता के लिए तीव्रता और प्रकीर्णन कोण के बीच संबंध बतानेवाले सम-अक्षाशी^३ वक्र प्राप्त किये जाते थे।



आकृति ५—निकल के मणिम के (III) फलक^४ का दृश्य।

इन प्रयोगों से प्राप्त फलों के विवेचन से पूर्व तनिक प्रयुक्त मणिम पर विचार कर लें। निकल के फलक-केन्द्रीय^५ घनक बनते हैं, अतः (III) फलक का दृश्य ऐसा होता है जैसा आकृति ५ में बताया गया है। पृष्ठ के समान्तरवाले व्यूह तलों^६ में परमाणु समवाहु त्रिभुजों के कोनों पर स्थित होते हैं, और प्रत्येक उत्तरोत्तर तल अपने ऊपर के तल से ऐसा विस्थापित होता है कि प्रत्येक तल के परमाणु ऊपरवाले तल के परमाणुओं के त्रिभुजों के केन्द्र^७ से ऊर्ध्वतः नीचे होते हैं।

1. Azimuth 2. Setting 3. Co-latitude 4. Face 5. Face-centred
6. Net planes 7. Centroid

तीन स्थिति^१ ऐसे हैं जिनमें परमाणुओं की जमावट की विशेष सममिति^२ प्रकट होती है। आकृति ५ में इन्हें (१), (२), (३) में अंकित किया है। तीर चिह्न आपाती दृष्टि^३ के सापेक्ष^४ गन्नाही की दिशा घुमन करने हैं। (१) और (२) प्रत्येक ३६०° घूर्णन में तीन बार घटित होते हैं और (३) छ बार। (१) और (२) में भिन्नता का कारण यह है कि उत्तरोत्तर तल किन्नी एक तल के परमाणुओं के अन्तरण का $\frac{1}{3}$ भाग विस्थापित होते हैं। मार्च १९५० में यह पाया गया कि विकीर्णित इलेक्ट्रानों की तीव्रता अभिलम्ब की ओर जाने में लगातार घटती है, किन्तु मणिभ की दिशा (१) में रहने पर ५४-वोल्टवाले सम-अक्षाशी वक्र में ५०° कोण पर एक गुम्फट उठाने^५ प्रकट होता है। अब यदि मणिभ की दिशा में ३६०° घूर्णित किया जाय, तो यह चोटी तीन स्थितियों में प्रकट होती है, जो मस्थिति (१) की तीन घटनाओं में सगत हैं, और तीन गौण चोटियाँ भी मस्थिति (२) के सगत आती हैं। यदि मणिभ को प्रारंभ में ही दिशा (२) में रखकर स्वारक विभव बढ़ाते, तो लगभग ५० वोल्ट पर वक्र में एक गुम्फट चोटी उत्पन्न होती है। यह अभिलम्ब से ४४° पर आती है। अब मणिभ को घूर्णित करने में ३६०° में तीन बार स्थिति (२) में सगत मुख्य चोटियाँ आती हैं, और तीन गौण चोटियाँ स्थिति (१) से सगत। प्रारंभिक मस्थिति दिशा (३) के लिए करें तो घूर्णन में छ चोटियाँ प्राप्त होती हैं। वोल्टता और अधिक बढ़ाने में प्रत्येक दिशा में और भी चोटियाँ प्रकट होती हैं। इन महत्तम बिन्दुओं का आना स्वयमेव ही विवर्तन का सूचक था, किन्तु डेविमन और जर्मेर और भी आगे गये।

विभिन्न परमाणुओं से विकीर्णित तरंगिकाएँ प्रचलन करें इसके प्रतिवध की दो प्रतिवधों में बाँटा जा सकता है। पहले एक नियत दिशा के लिए हम प्रत्येक तल को एक रेखिल^६ ग्रेटिंग मान सकते हैं, जिसकी रेखाओं का अन्तरण^७ आकृति ५ में दिखाया गया है। ऐसी ग्रेटिंग पर तरंगों के अभिलम्ब आपात से विवर्तित दृष्टों की अनेक चोटियाँ^८ उत्पन्न होंगी, जिनके प्रतिवध होंगे (A) b ज्या $0 = n\lambda$ मस्थिति (१) तथा (२) के लिए, और (B) b' ज्या $0 = n\lambda$ मस्थिति (३) के लिए। यदि डी ब्रोगली नियम सत्य है, तो

$$\lambda = \frac{h}{\text{सवेग}} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mPe}},$$

300

1. Azimuths 2. Symmetry 3. Incident beam 4. With respect to
5. Notation 6. Pronounced spur 7. Lane 8. Spacing 9. Orders

जिसमें P त्वारक की वोल्टता है, और शेष संकेत अपना सामान्य अर्थ रखते हैं। नियतांकों के मान रखने पर यह व्यंजक^१ बन जाता है

$$\lambda = \sqrt{\frac{150}{P}} \cdot 10^{-8} \text{ सें० मी०} \quad (1)$$

अब, b और b' के मान X -किरण सम्बन्धी कार्य से ज्ञात थे, और डेविसन और जर्मर ने देखा कि θ के प्रायोगिक मानों से व्यंजक (A) तथा (B) द्वारा तरंग-दैर्घ्य के जो मान आते हैं वे डी ब्रोगली नियम पर आधारित व्यंजक (१) के मान से मेल खाते हैं।

फिर यदि हम विवर्तन के दूसरे प्रतिबंध पर ध्यान दें—कि उत्तरोत्तर तलों के संगत बिन्दुओं से प्रकीर्णित तरंगिकाएँ प्रवलन करें—तो हमें पूर्वोक्त तीन दिग्गों के लिए ये प्रतिबंध मिलते हैं:—

$$\text{दिग्ग (१)} \quad a \cos \theta - \frac{b}{3} \cos \theta = n' \lambda$$

$$\text{दिग्ग (२)} \quad a \cos \theta + \frac{b}{3} \cos \theta = n' \lambda$$

$$\text{दिग्ग (३)} \quad a \cos \theta = n' \lambda$$

यह पाया गया कि यद्यपि चोटियाँ पहले प्रतिबंध का पालन करती हैं, दूसरा प्रतिबंध पालित नहीं होता।

बाद के कार्य में डेविसन और जर्मर ने अभिलम्ब आपात से भिन्न आपात कोण काम में लिये। सप्राही का समंजन ऐसा किया कि वह पृष्ठीय परावर्तनवाले दंड को ग्रहण करे, और त्वारक की वोल्टता को क्रम से बदला। इसमें फिर अनेक चोटियाँ प्राप्त हुईं, और ये ग्रेग परावर्तन की विभिन्न कोटियों से संगत होनी चाहिए थीं। किन्तु इस बार भी वैपम्य^१ आया, और चोटियाँ ठीक उन जगहों पर नहीं आयी जहाँ सिद्धान्त ने उद्घोषित की थीं। प्राप्त महत्तम बिन्दुओं से संगत तरंग-दैर्घ्य उन तरंग दैर्घ्यों से कुछ उच्चतर आये जिन पर प्रवल परावर्तन प्रत्याशित था।

सिद्धान्त और प्रयोग के बीच इस वैपम्य का अधिकांश भाग अब एक वर्तनाक^२ प्रभाव द्वारा समझाया जा चुका है, जिसके अनुसार मणिम के आयतन^३ में मध्यमान विभव^४ वही नहीं होता जो स्वतंत्र आकाश^५ में होता है। इस प्रभाव को गणना में

लेकर भी एक अल्प वैधम्य रह जाता है, किन्तु ऐसा प्रतीत होता है कि मणिम को पहले अनेक प्रकीर्णक बिन्दुओं से बना मानने, और फिर उनमें एक समान विभज्य-वितरण मानने की आदश कल्पना के बजाय यदि उसे एक प्रत्यावर्ती विभज्य-क्षेत्र मानें तो इसका समाधान हो जायेगा। वास्तव में मोर्म¹ ने ऐसा किया है; यह मणिम वः ऐसा माध्यम मानता है जिसमें विभज्य वितरण का स्वरूप है—

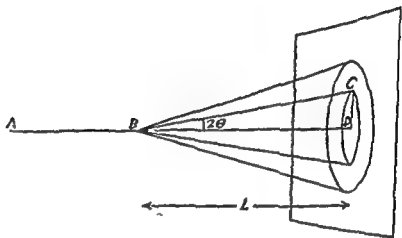
$$V = \sum_I A_I \frac{e^{i2\pi x/a}}{a} + \sum_{III} B_{III} \frac{e^{im2\pi y/b}}{b} + \sum_{II} C_{II} \frac{e^{in2\pi z/c}}{c},$$

जहाँ a, b, c लैटिस अंतरण हैं। इस मान्यता पर जो फल प्राप्त होने हैं, वे डेविसन और जर्मर के प्रयोगों से अच्छा मेल खाते हैं।

पतले पट्टों से पारगमन² में विवर्तन—डेविसन और जर्मर के कार्य के प्रकाशन के कुछ ही बाद जी० पी० टॉमसन के सुझाव पर ए० रीट³ द्वारा की गयी एक प्रयोग-शृङ्खला का विवरण प्रकाशित हुआ। इन प्रयोगों में किसी गैस विमर्गनली⁴ से प्राप्त द्रुत इलेक्ट्रानों का एक दंड एक भारीक नलिका से गुजरता था, और फिर एक स्थिर वैद्युत बलक्षेत्र द्वारा विक्षेपित⁵ होकर 25 मि० मी० व्यास के एक छोटे छिद्र से निकलता था। छिद्र के ठीक पीछे ही सेल्यूलोस का एक 10^{-6} से० मी० की कोटि की मोटाई का पतला पटल रखा जाता था। सेल्यूलोस का ऐमाइल एसीटेट में घोल बनाकर, घोल की एक बूंद की स्वच्छ पानी के पृष्ठ पर फैलाकर यह पटल प्राप्त किया जाता था। किरणों के पटल के पार गंचरण से जो वितरण प्ररूप बनता था उसे अंकित करने के लिए एक फोटोग्राफी प्लेट छिद्र से 20 से० मी० दूर दंड से अभिलम्बित रखी जाती थी। तीव्र केन्द्रीय धब्बे⁶ के अतिरिक्त कुछ प्लेटों पर एक, दो, या तीन फाकी धुंधले बलय⁷ प्राप्त हुए। इस फल की व्याख्या के लिए मानना पड़ता था कि तरंग विकीर्णक केन्द्रों के एक बादल से गुजरती हैं, जिसमें कोई एक विशेष दूरी प्रचुरता रखती है। बलयों के व्यास मन्त्रिकदत्तः 1 : 2 : 3 के अनुपात में पाये गये, जिसका संकेत था कि ये बलय एक ही अंतरण से संगत विवर्तन की तीन क्रमिक कोटियों⁸ हैं। सेल्यूलोस की मणिम बनावट ज्ञात न होने से वास्तविक तरंग-दैर्घ्य की गणना तो असंभव थी, किन्तु इसके मान का परिमाण⁹ डी ब्रोगली सूत्र के उपयुक्त कोटि का

1. Alternating potential field. 2. Transmission 3. Discharge tube. 4. Deflect 5. Spot 6. Rings 7. Successive order 8. Estimate

ही पाया गया। प्रयोगकर्ताओं ने दर्शाया कि किसी एक वलय के लिए $D \sqrt{P}$ अव
रहता था, जिसमें D वलय का व्यास और P इलेक्ट्रानों की वोल्टता है। य
सिद्धान्त के अनुकूल बैठता है।



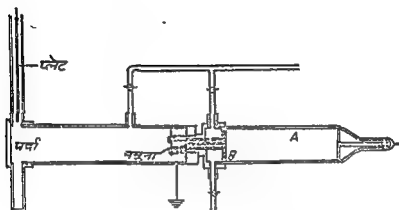
आकृति ६—एक पतले पटल से पारगमन।

धातु के पटल—सैल्युलायड फिल्मों के बाद जी० पी० टॉमसन^१ ने वैसे ही प्रयोग
ज्ञात मणिम घनावट के धातु पटलों से किये। इसके विवरण से पहले यह देखना
लाभकारी होगा कि एक बहुमणिमी^२ पटल के पार डी ब्रोगली तरंगों के संचरण में
हमें क्या होने की आशा करनी चाहिए। जैसा X -किरणों के साथ डिवाइवरर
पूर्ण विधि में होता है, बहुमणिमी पटल में कुछ मणिम ठीक ऐसे कोण पर संस्थित होंगे
कि अपने किसी तल-समूह से ब्रैग परावर्तन दें। यदि काफी मणिम यदुच्छत^३ वितरित
हैं, तो इन परावर्तनों के कारण वलयों की एक श्रेणी प्राप्त होगी। मान लीजिए
आकृति ६ में AB आपाती दंड है, जो B पर पटल को पार करता है, और BC एक
दंड है जो पटल के किसी छोटे मणिम से ब्रैग परावर्तन द्वारा प्राप्त हुआ है। तो कोण
 $DBC = 2\theta$, जहाँ θ ऐसा है कि $n\lambda = 2d \sin \theta$, जिसमें n परावर्तन की
कोटि है, और d परावर्तन उत्पन्न करनेवाले तलों का अंतरण^४। इलेक्ट्रानों के लिए

१. Polycrystalline २. Randomly ३. Spacing

0 बहुत छोटा होता है, इसलिए हम लिख सकते हैं $n\lambda = 2d\theta$ और $2\theta = \frac{D}{L}$, जहाँ

D वलय का अर्ध व्यास और L पटल से प्लेट की दूरी है। फलत $D = \frac{Ln\lambda}{d}$.



आकृति ७—जी० पी० टॉमसन का प्रारंभिक उपकरण।

टॉमसन ने अनेक भिन्न-भिन्न धातुओं के पटल काम में लिये, जिन्हें अनेक भिन्न विधियों से तैयार किया जाता था। कुछ तो व्यावसायिक पटलों को समुचित विलायकों द्वारा पतला कर प्राप्त किये जाते थे, कुछ रौक-सारट या कोलॉइडियन के आधार पर धातुओं का स्पटरन^१ करके बाद में आधार को विलायन द्वारा हटाकर।

इलेक्ट्रान विवर्तन में प्रयुक्त उपकरण आकृति ७ में बताया गया है। ऋणाग्र किरणों का एक दड^२ गैस विसर्ग नली A में प्रेरण-कुंडल^३ द्वारा उत्पन्न किया जाता था, और दारिक नलिका B से एक किरण-शलाका गुजरती थी जिसे मृदु लोहे की एक चुम्बकीय सोल^४ घेरे रहती थी। नलिका के पार होकर इलेक्ट्रानों की शलाका प्रयोगाधीन पटल के पार गुजरती थी, और प्रस्प^५ को पटल से लगभग 30 से० मी० दूर एक फोटोग्राफी प्लेट पर अंकित कर लेते थे। प्लेट को एक चुम्बकीय नियंत्रण से दो अवस्थानों में नीचे लाया जा सकता था, ताकि एक प्लेट पर दो अभिलेख लिये जा

1. Solvents 2. Sputtering 3. Cathode rays 4. Beam 5. Induction Coil
6. Shield 7. Pattern 8. Fluorescent

सकें। प्लेट से परे एक प्रतिदीप्त^१ पर्दा होता था, ताकि प्लेट को नीचे लाने से पूर्व दृष्टि से ही प्ररूप का अध्ययन कर सकें। केमरा भाग को उच्चतः निर्वातित^२ रखा जाता था, और विसर्ग नली में एक सुई-वातव के मार्ग से हवा को दारित^३ होने दिया जाता था। क्योंकि केमरा और विसर्ग नली के बीच एकमात्र सम्बन्ध बारीक नलिका B से होता था, इसलिए यह सम्भव हो पाता था कि केमरा को निम्न दाब पर रखकर भी विसर्ग नली को 'नरम'^४ रखा जाये, जिससे यह प्रयुक्त वोल्टताओं पर तीव्र इलेक्ट्रान दंड दे सकें। प्रयुक्त विभव १० से ४० किलोवोल्ट तक बदला जाता था और स्फूर्ति-दूरी^५ विधि से मापा जाता था। प्रेरण-कुण्डल से प्राप्त धारा को एक वातव से श्रृज्जुत^६ किया जाता था, और बाद के प्रयोगों में अनेक साम्यकारी^७ संधारित्र^८ विसर्ग नली के समांतर लगाये जाते थे।

प्रत्येक दक्षा में, प्ररूप में सामान्य प्रभाव होता था एक अविवर्तित केन्द्रीय धब्बा और उसे घेरे हुए सकेन्द्र चलयों की एक श्रेणी। अनेक प्ररूपों में तीव्रता चलयों के सब भागों में समान होती थी, किन्तु कुछ में चलय अनेक चापों^९ में बँटे होते थे। कुछ ऐसे भी प्ररूप पाये गये जिनमें X-किरणों से प्राप्त मणिम बनावट के आधार पर प्रत्याशित चलय लुप्त या अत्यंत क्षीण होते थे। इन सब विचित्रताओं की संतोष-जनक व्याख्या मणिम आकार^{१०} और दक्षिकता^{११} के विचारों से की गयी है, जिनके प्रभावों पर अगले अध्याय में प्रकाश डाला जायेगा।

किरणों को एक चुम्बकीय बलक्षेत्र द्वारा विक्षेपित^{१२} करके यह सिद्ध कर दिया गया कि प्राप्त प्ररूप^{१३} श्रृणाम्र किरणों के ही कारण होता है, क्योंकि बलक्षेत्र को लगाने से सारा प्ररूप एक ओर खिसक जाता है, और बलयवर्ग अविवर्तित दंड द्वारा उत्पन्न धब्बे से सकेन्द्र बने रहते हैं। यह भी दर्शाया गया कि चलय बनानेवाले इलेक्ट्रानों की वोल्टता, प्रयोगात्मक त्रुटि की सीमा के भीतर, जो एक प्रतिशत से कम थी, केन्द्रीय धब्बा बनानेवाले इलेक्ट्रानों की वोल्टता के बराबर होती है।

डी प्रोगली नियम के सत्यापन के लिए विभिन्न धातुओं के लिए इस प्रयोग से मणिम अक्षों की गणना की जाती थी, और फिर इन लम्बाइयों की तुलना X-किरणों से प्राप्त मानों से की जाती थी। ये मान प्रयोगात्मक त्रुटियों की सीमा के भीतर,

1. Evacuated 2. Leak 3. Soft 4. Spark gap 5. Rectify
6. Smoothing 7. Condenser 8. Arc 9. Crystal size 10. Orientation
11. Deflect 12. Pattern

प्रश्न २.१ दर्शाता है कि β का मान $\beta = 0$ है। इस बात का अर्थ है कि β का मान $\beta = 0$ है।

प्रश्न	X (कि.मी.) : याम	Y (कि.मी.) : याम
प्रश्न २.१	4.0×10^{-8} मी.	4.0×10^{-8} मी.
प्रश्न २.२	4.0×10^{-8}	4.0×10^{-8}
प्रश्न २.३	3.0×10^{-8}	3.0×10^{-8}

इस प्रकार से दर्शाया कि यदि β का मान $\beta = 0$ है, तो β का मान $\beta = 0$ है।

मान लीजिए, β के मान $\beta = 0$ है, तो

$$\frac{cP}{100} = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} - m_e c^2$$

$$\text{और } \beta = \frac{h \sqrt{1 - \beta^2}}{m_e c^2} \text{ जिसे } \beta = \frac{v}{c}.$$

इससे β का मान $\beta = 0$ है, यदि $\beta = 0$ है, तो β का मान $\beta = 0$ है।

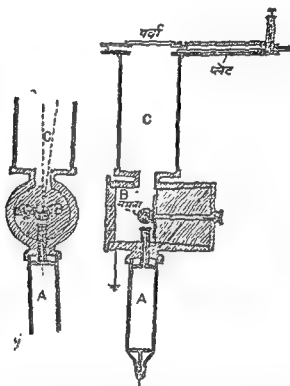
$$\lambda = h \sqrt{\frac{150}{cP m_e}} \left(1 + \frac{cP}{1200 m_e c^2} \right).$$

यह है कि यदि $\beta = 0$ है, तो β का मान $\beta = 0$ है।

बटाशी आपात में विचलन—यदि पृष्ठों में बाम देने की आवश्यकता के कारण इलेक्ट्रॉन विचलन की आवश्यकता भीमित हो जाती है, इसका अनुभव आपके जी० पी० टॉमसन ने, इन इलेक्ट्रॉनों में बाम देने, एवम् विचलन और वृद्धिपिभी पृष्ठों में पर्याप्त ठाढ़ विचलन प्रत्य प्राप्त करने के यत्न लिये। प्रयुक्त उपकरण के

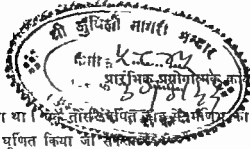
1. Kinetic energy
2. Relativity mechanics
3. Potential drop
4. Elimination
5. Approximation
6. Glancing incidence

मुख्य गुण आकृति C में दर्शाये गये हैं। A एक गैस विसर्ग नली है, जो एक प्रेरण-कुण्डल से क्रियान्वित होती थी, जिसकी धारा एक वाल्व से ऋजुकृत^१ और एक सधारित्र^२ से समीकृत^३ की जाती थी। इलेक्ट्रान एक वारीक नलिका से निकल कर नमूने पर टकराते थे, और विवर्तित किरणें एक विलंबाइट पर्दे पर गिरती थी या फोटोग्राफी प्लेट पर जिसे एक घर्षित संयोजन^४ के बीच चलते दण्ड-चक्री^५ द्वारा पर्दे के सामने लाया जा सकता था। नमूने की दंड से लम्ब एक दिशा में खिसकाया जा सकता था, और इस दिशा और दंड की दिशा से लम्ब अक्ष पर घूर्णित^७ भी किया



आकृति C—जी० पी० टॉमसन द्वारा कटाक्षी कोण पर परावर्तन द्वारा इलेक्ट्रानों को विवर्तित कराने के उपकरण का स्वरूप। स्पष्टता के लिए पप की नलियाँ नहीं दिखायी गयी हैं।

1. Induction coil 2. Rectified 3. Condenser 4. Smoothened
5. Ground joint 6. Rack and pinion 7. Rotate



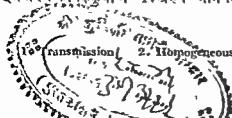
जा सकता था। किंतु जोसिखेपित क्षेत्रों में नमूने का परावर्तक पृष्ठ से अभिलम्ब अक्ष पर घूर्णित किया जा सकता था।

द्रुत इलेक्ट्रानों के दड को एकाकी मणिम फलक पर कटाक्षी कोण से आपतित कराने से प्राप्त प्ररूपों में, सार्वरूप से, अनेक अलग-अलग घव्ये प्राप्त हुए हैं, और कुछ द्वार प्लेटों पर श्रुजु काली रेखाएँ भी प्राप्त हुईं। ये रेखाएँ किफुची द्वारा प्राप्त उन रेखाओं में समरूपी थीं, जिनका वर्णन अगले अनुच्छेद में दिया गया है, और अवश्य ही इनका स्रोत भी वही है। बहुमणिमी पृष्ठों से वलय स्वरूप प्राप्त हुए, जैसे पारगमन द्वारा प्राप्त होते हैं, केवल इस अतर से कि प्रत्येक वलय का आधे से अधिक भाग नमूने की प्रतिच्छाया से कटा होता था। इन प्ररूपों पर अध्याय ४ में आगे विचार किया जायगा।

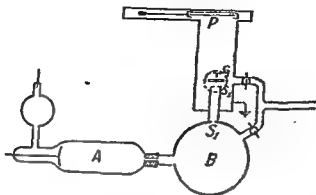
किफुची के पारगमन प्रयोग—आकृति ९ में बताये गये उपकरण से किफुची ने अभ्रक के पतले पटलों के पार मचरण से विवर्तन प्ररूप प्राप्त किये। विसर्ग नली A में उत्पन्न कृणाग्र किरणें B में एक चुम्बकीय बल-क्षेत्र से विक्षेपित की जाती थी, ताकि समाग किरणों की एक पतली शलाका क्षिरी S_1 और S_2 से निकले। अभ्रक का नमूना T पर स्थित होता था, और एक घर्षित सयोजन G द्वारा कागज के तल से अभिलम्ब अक्ष पर घूर्णित किया जा सकता था। प्ररूप को फोटोग्राफी प्लेट P पर अभिलिखित किया जाता था।

किरणों की वोल्टता, जो १० से ८५ किलोवोल्ट तक होनी थी, विक्षेपी बल-क्षेत्र उत्पन्न करनेवाली कुडलियों की धारा से निर्धारित की जाती थी। किफुची ने दिखाया कि कुडलियों की धारा और श्रुणाग्र किरणों के तरंग-दैर्घ्य का गुणनफल एक नियतांक आता है, अतः ज्ञात रचना के एक अलूमीनियम पटल के नमूने की सहायता लेकर किसी भी कुडली धारा से सगल तरंग-दैर्घ्य का निर्धारण हो जाता था।

तीन प्रकार के प्ररूप पाये गये, जो अभ्रक के पटल की मोटाई पर निर्भर थे। १०^{-१} से ०.००१ मी. की कोटि की मोटाई से घव्यों का एक विस्तृत प्ररूप प्राप्त होता था, जो परस्पर ६०° कोण पर झुकी समातर पवित्तियों के तीन सघातों का बना होता था। इस प्ररूप को किफुची ने "N-प्ररूप" नाम दिया है, और यह सिद्ध किया गया है कि



अभ्रक के एक लैटिस तल के परमाणुओं द्वारा बनी ग्रेटिंग के अनुरूप समतल ग्रेटिंग द्वारा जो प्ररूप उत्पन्न होता, वही यह प्ररूप है (देखिए मुख पृष्ठ, आकृति १)।



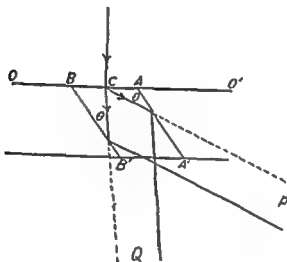
आकृति १—किकुची का उपकरण।

जब पटल इतना मोटा हो कि व्यतिकरण वर्ण^१ दिखाने लगे, तो N -प्ररूप का स्थान L -प्ररूप ले लेता है, जिसमें वृत्ताकार जमावट के अनेक घब्बे होते हैं (लावे घब्बों से मिलते-जुलते), और साथ ही अनेक काली और श्वेत रेखाएँ भी। पटल की मोटाई बढ़ाते जाने से घब्बे हलके पड़ते जाते हैं, किन्तु रेखाएँ टिकी रहती हैं, जब केन्द्रीय घब्बे के लुप्त हो जाने के बाद भी। इसे " P -प्ररूप" कहा जाता है। इन प्ररूपों के विषय में सबसे रोचक बातें हैं—द्वि-दिश^२ ग्रेटिंग से संगत घब्बों की शृंखलाओं का प्रकट होना, और काली और श्वेत रेखाओं का प्रकट होना। इन घब्बों की व्याख्या अगले अध्याय में की जायगी, किन्तु रेखाओं के विषय में अभी ही विचार करना सुविधाप्रद होगा।

किकुची रेखाओं का बनना—विवर्तन प्ररूपों में काली और श्वेत रेखाएँ युगल रूप से प्रकट होती हैं, और एक दूसरे के समांतर होती हैं। काली रेखा से यहाँ फोदो-प्राप्ती प्लेट पर काली रेखा का तात्पर्य है। यह रेखा प्रायः किसी घब्बे से गुजरती है, और तब इसकी दिशा उस घब्बे की मूल-बिन्दु से जोड़नेवाली रेखा से लम्ब होती है।

किकुची में इन घब्बों के प्रकट होने की जो व्याख्या दी है, और जो सर्वतः मान्य है, वह इस प्रकार है। जब इलेक्ट्रान दंड भण्ड में प्रवेश करता है तो कुछ अंश में

विनिरित प्रकीर्णन' होता है। ये प्रकीर्णित किरणें विभिन्न तल-गंघातों' से, जिनसे ये द्रव्य कोण बनाती है, परावर्तित होती हैं। आकृति १० में मान लीजिए AA' और BB' भिन्न तल हैं, और मान लीजिए आपाती किरण C पर विसरित प्रकीर्णित होती है तो AA' तल P की ओर प्रकीर्णित किरणों को दिशा Q में परावर्तित



आकृति १०—किरुची रेखाओं की उत्पत्ति।

कर देता है, और BB' तल Q की ओर प्रकीर्णित किरणों को दिशा P में परावर्तित कर देता है। संभवतः Q की ओर प्रकीर्णित किरणों की तीव्रता P की ओर प्रकीर्णित किरणों की अपेक्षा अधिक होगी, क्योंकि दिशा Q के लिए प्रकीर्णन कोण कम है। फलतः, AA' और BB' पर होनेवाले परावर्तनों के कारण, दिशा Q में लाभ कम होगा, हानि अधिक, और दिशा P में इसके विपरीत। इस प्रकार फोटोग्राफी प्लेट पर विनिरित प्रकीर्णन में उत्पन्न सार्व हलके कालेपन के बीच Q दिशा में श्वेतता आ जायगी, P दिशा में अधिक कालापन। यह ध्यान देने की बात है कि रंगत रेखा सदैव काली रेखा की अपेक्षा केन्द्रीय धन्य के निकटतर ही होंगी चाहिए।

यद्यपि यह सिद्धान्त किरुची रेखाओं की उत्पत्ति की गुणारमक व्याख्या करता है, तथापि यह सर्वथा पूर्ण नहीं है, क्योंकि विसरित प्रकीर्णन होता क्यों है, यह बात इससे

स्पष्ट नहीं होती। यदि हम मानें कि इलेक्ट्रानों की ऊर्जा में हानि नहीं होती, अर्थात् उनका प्रत्यास्थी^१ प्रकीर्णन हो रहा है, तो वास्तव में हम मणिभ पर आपाती समतल तरंगों पर विचार कर रहे होते हैं। उस दशा में सिद्धान्त की आज जो अवस्था है उसमें हमें विसरित विकिरण^२ जैसी कोई बात नहीं मिलती। दूसरी ओर, यदि इलेक्ट्रानों को अप्रत्यास्थ^३ प्रकीर्णित मानें, तो विसरित विकिरण तो होगा, किन्तु इस बार रेखाओं और धब्बों की जो पारस्परिक त्रिया प्रेक्षित है उसे समझना कठिन हो जाता है। कुछ दशाओं में, जब किफुची रेखाएँ किसी धब्बे के पास प्रतिच्छेद^४ करती हैं, तो उस धब्बे का अंशतः दमन^५ हो जाता है। इसमें प्रतीत होता है कि रेखाएँ बनानेवाली किरणों में और धब्बे बनानेवाली किरणों में व्यतिकरण^६ होता है। यदि किफुची रेखाएँ उत्पन्न करनेवाला विसरित विकिरण अप्रत्यास्थी प्रकीर्णन से उत्पन्न होता है, और धब्बे प्रत्यास्थतः प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों के कारण, तो उपर्युक्त व्यतिकरण असंभव होगा, क्योंकि अप्रत्यास्थी प्रकीर्णन में तरंग-दैर्घ्य का परिवर्तन होता है। अतः यही प्रायिक^७ दीखता है कि ये रेखाएँ, चाहे अंशतः ही सही, प्रत्यास्थतः प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों के कारण होती हैं।

डी ब्रोगली नियम का और सत्यापन—पूर्व वर्णित प्रयोगों में डी ब्रोगली नियम का सत्यापन 50—1000 वोल्ट तथा 10,000—85,000 वोल्ट के परास^८ के इलेक्ट्रानों के लिए हो गया था। इनके अतिरिक्त भी बहुत काम हुआ है, और इस सम्बन्ध में एम० पोण्टे^९ का नाम उल्लेखनीय है, जिन्होंने द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए, चूर्णित यशद ऑक्साइड^{१०} का नमूना काम में लेकर, हजार में तीन भाग के भीतर-भीतर डी ब्रोगली नियम का सत्यापन किया है। स्प^{११} ने 150—300 वोल्टवाले इलेक्ट्रानों से पतले धातु-पटलों के पारगमन के प्रभावों का अध्ययन किया है। इसी परास के इलेक्ट्रानों को वे एक 1,300 रेखाएँ प्रति से० मी० वाली रेखिल ग्रेटिंग^{१२} से विवर्तित कराने में सफल हुए हैं। इस प्रभाव के समाधान के लिए आवश्यक तरंग दैर्घ्य डी ब्रोगली सिद्धान्त से प्राप्त मान से सन्निकटतः मेल खाता है। बी० एल० वर्सनाप^{१३} ने भी ऐसा ही एक प्रयोग किया है। अनेक अन्य कार्यकर्ताओं ने मद इलेक्ट्रानों के लिए डी ब्रोगली नियम सत्यापित किया है। टिलमैन ने, मणिभों के आंतरिक विभव^{१४} सम्बन्धी कुछ

1. Elastic 2. Diffuse radiation 3. Inelastically 4. Intersect
5. Suppression. 6. Interference 7. Probable 8. Verification 9. Range
10. Zinc oxide 11. Line grating 12. Inner potential

कार्य में, 3-6 किलोवोल्ट का परास काम में लिया है, जिसमें ही प्रोगली नियम गत्युत्तरता है। स्प और जी० पी० टॉमसन दोनों ने इलेक्ट्रानों के प्रवण¹ सम्बन्धी कार्य में, 200 किलोवोल्ट की कोटि की वोल्टताओं के लिए ही प्रोगली नियम को सत्य पाया है।

१९३५ में जे० बी० ह्यूजेज² प्रकाश-वेग के तुल्य वेगवाले इलेक्ट्रानों के लिए इस नियम का सत्यापन करने में सफल हुए हैं। प्रयुक्त उपकरण में मूलतः एक लगभग 2 मीटर लम्बी नली थी, जिसे उच्चतः निर्वातित किया जा सकता था, और जिसे पृथ्वी के चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में रखा जाता था। इलेक्ट्रानों का स्रोत एक छोटी और पतली दीवारों की नलिका में बन्द रैडोन गैस होती थी, जो अपने उत्पादनों³ में सतुलन में रहती थी। इस रैडोन नलिका को निचले सिरे पर रखा जाता था। नली के मध्य भाग में, उससे सम-अक्षीय, एक लम्बी वेलनाकार मीसे की रोक लगी होती थी जिसके कारण γ किरणें नली के ऊपरी भाग पर लगी फोटो-प्लेट को कालुषित⁴ नहीं कर पाती थी। नली के लगभग मध्य भाग के चारों ओर लिपटी एक बड़ी सगमकारी कुडली⁵ के द्वारा रैडोन के लाक्षणिक⁶ β विकिरणों में से किसी एक को प्लेट पर सगमित किया जा सकता था। सगमन क्रिया के चारे में अंतिम अध्याय में और विचार किया जायेगा। β किरणें स्रोत से चलती थी, नली की दीवारों तथा रोक के धीच की संधि में से गुजरती थी, और फिर कुडली द्वारा प्लेट पर एक बिन्दु पर सगमित हो जाती थी। किस ऊर्जा का विकिरण सगमित हुआ है इसका ज्ञान सगमकारी घारा तथा उपकरण के अन्य परिमाणों से प्राप्त हो जाता था। नमूना, जो निकल की एक जाली पर स्थित जिलेटिन पटल पर स्पष्टरित⁷ पतली स्वर्ण की तह के रूप में होता था, नली के भीतर सगमकारी कुडली से ऊपर रखा जाता था। फोटोग्राफी फिल्म पर पहुँचनेवाले सभी इलेक्ट्रानों को इस स्वर्ण तह से पार होना पड़ता था। 250 से 1000 किलोवोल्ट के परास में अनेक वोल्टताओं से चित्र लिये गये, और इनमें एक, दो या कभी तीन काफी चारीक वलय प्राप्त हुए। इन वलयों के आकार से परिगणित तरंग-दैर्घ्य⁸ ही प्रोगली तरंग-दैर्घ्य से, प्रयोगात्मक ध्रुति के भीतर-भीतर, मेल खाते थे।

संदर्भ

- क—C. Davisson and L. H. Germer, *Phys. Rev.*, 30, 707, 1927.
 ख—P. M. Morse, *Phys. Rev.*, 35, 1310, 1930.
 ग—G. P. Thomson and A. Reid, *Nature*, 119, 890, 1927.
 घ—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, 117A, 600, 1928.
 ङ—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, 128A, 641, 1930.
 च—S. Kikuchi, *Proc. Imp. Acad. Jap.*, 4, 271, 275, 354, 471, 1928; *Jap. Journ. of Phys.*, 5, 83, 1928.
 छ—M. Ponte, *Ann. de Phys.* 13, 395, 1930.
 ज—E. Rupp. *Ann. Phys.*, 85, 981, 1928; *Z. Phys.*, 52, 8, 1929.
 झ—B. L. Worsnop, *Nature*, 123, 164, 1929.
 ञ—J. V. Hughes, *Phil. Mag.*, 19, 129, 1935.

अध्याय ३

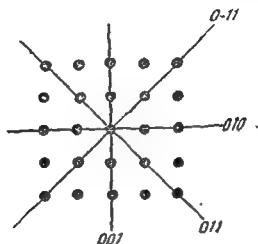
पतले पटलों के पार संचरण से विवर्तन

एकाकी मणिभ के पार संचरण—गत अध्याय में किक्कुची के फलों का उल्लेख किया जा चुका है, जिन्होंने अभ्रक के एक पतले पटल के पार संचरण से विवर्तन प्ररूप प्राप्त किये। जब पटल 10^{-8} से 10^{-9} मी० की कोटि की मोटाई का होता था तो धब्बों का एक विस्तृत प्ररूप¹ प्राप्त होता था, और यह संकेत किया जा चुका है कि इनकी व्याख्या हो जायेगी, यदि हम विवर्तन को एक क्रॉस-ग्रेटिंग² से उत्पन्न मानें, यथा मणिभ के व्यूह-तलों³ में से एक। इस प्रकार के क्रॉस-ग्रेटिंग प्ररूप इलेक्ट्रॉन विवर्तन में बहुत बार आते हैं, और प्रश्न यह होता है कि त्रिविध मणिभ कैसे एक द्विविध ग्रेटिंग-जैसी क्रिया कर सकता है?

डब्ल्यू० एल० ब्रैग⁴ ने इसकी एक व्याख्या दी, जो मणिभ की थोड़ी-सी विकृति⁵ की मान्यता पर आधारित है। मान लीजिए कोई “कटिवंध अक्ष”, अर्थात् एक अक्ष जो अनेक तलों के बीच सर्वनिष्ठ⁶ हो, किरण-दंड के साथ एक अल्प कोण बनाता है। अक्ष की दिशा में देखने से ये तल कोर से⁷ देखने के समान होंगे, अतः रेखाएँ ही प्रतीत होंगी। आकृति ११ में एक घनक रचना का एक “कटिवंध अक्ष” की दिशा (इस बार घनक की कोर) से अवलोकित दृश्य प्रतिदर्शित है। कुछ मुख्य तल अंकित कर दिये गये हैं। इन रेखाओं को और इनके समांतर रेखाओं को कागज से अभिलम्ब तल कल्पित करना चाहिए। तब एक क्रॉस ग्रेटिंग का रूप स्पष्ट हो जायेगा। यदि किरण-दंड इन तलों में किसी एक तल-संघात से समुचित कोण बनाता है, तो प्राप्त प्ररूप में तत्संगत एक धब्बा उत्पन्न हो जायेगा। एक साथ बहुत से तल-संघातों से धब्बों की उत्पत्ति को समझाने के लिए ब्रेग ने “कटिवंध अक्ष” को थोड़ा-सा वक्र माना, जो मणिभ की विकृति के फलस्वरूप होता है। इसके कारण मणिभ के किसी न किसी भाग के लिए प्रत्येक तल-संघात किरण-दंड से आवश्यक कोण बना लेगा, क्योंकि प्रयुक्त बोल्टताओं पर परावर्तन कोण 1-2 अंश की कोटि के होते हैं।

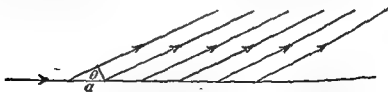
1. Extended pattern 2. Cross-grating 3. Net planes 4. Distortion
5. Zone-axis 6. Common 7. On edge 8. Cubic structure

यद्यपि इस व्याख्या से कुछ मामलों में क्रॉस-ग्रेटिंग व्यवहार के देखने का समाधान अवश्य हो जाता है, तथापि नीचे जो दूसरी व्याख्या दी जा रही है, उसका अधिक सार्व आरोप है।



आकृति ११—एक घनक रचना का घन की एक कोर से अवलोकित दृश्य।

मान लीजिए कि एक कटिवंध-अक्ष किरण-रश्मि की दिशा में ही है, और मान लीजिए कि मणिभ पटल की मोटाई इतनी कम है कि अक्ष पर कुछ ही प्रकीर्णक बिन्दु हैं। हम विवर्तित दंड के प्रतिबन्ध को दो सप्पडों से बना मान सकते हैं। पहला प्रतिबन्ध यह है कि कटिवंध-अक्ष से लम्ब दिशा में प्रत्येक तल में स्थित प्रकीर्णक बिन्दुओं की तरंगिकाएँ प्रवलन करें। यह प्रतिबन्ध अकेला एक क्रॉस ग्रेटिंग प्ररूप उत्पन्न करेगा। दूसरा प्रतिबन्ध यह है कि कटिवंध-अक्ष पर स्थित उत्तरोत्तर बिन्दुओं से प्राप्त तरंगिकाएँ प्रवलन करें। इसके कारण द्विदिश प्ररूप में से वे घब्बे, जिनके लिए यह दूसरा प्रतिबन्ध पूरित होता है, तीव्र होंगे, और शेष मंद या लुप्त हो जायेंगे। जैसा आकृति १२ में



आकृति १२—समान अंतरणवाले परमाणुओं की एक पंक्ति के लिए विवर्तन प्रतिबन्ध दिखाते हुए।

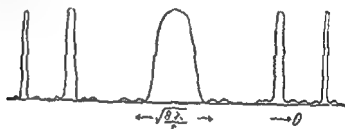
दिखाया गया है, पट्टी विन्दुओं से 0 दिशा में प्रकीर्णित तरंगिकाओं के बीच पथान्तर समीकरण

$$\delta = a(1 - \cos \theta) \dots \dots \dots (1)$$

से प्राप्त होगा। किसी दिशा 0 में प्रकीर्णित तरंग का आयाम व्यंजक

$$A = A_0 \text{ जया } \frac{\psi}{2} / \text{ जया } \frac{\psi}{2} \dots \dots \dots (2)$$

से प्राप्त होगा, जिसमें n प्रकीर्णक विन्दुओं की गणना है और ψ उत्तरोत्तर विन्दुओं की तरंगिकाओं के बीच कलांतर है।



आकृति १३—व्यंजक १ (समीकरण ३ क) का स्वरूप बताते हुए।

(१) से हमें प्राप्त होता है—

$$\psi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} a (1 - \cos \theta) = \frac{2\pi a}{\lambda} 2 \sin^2 \frac{\theta}{2} = \frac{\pi a \theta^2}{\lambda}$$

इस प्रकार $A = A_0 \text{ जया } \frac{\pi a \theta^2}{2\lambda} / \text{ जया } \frac{\pi a \theta^2}{2\lambda} \dots \dots (3)$

और तीव्रता $I = \left(A_0 \text{ जया } \frac{\pi a \theta^2}{2\pi} / \text{ जया } \frac{\pi a \theta^2}{2\lambda} \right)^2 \dots \dots \dots (३ क)$

इस व्यंजक का वेक आकृति १३ में दिखाया गया है। केन्द्रीय महत्तम की कोणीय चौड़ाई $\sqrt{8\lambda/t}$ है ($t = na$) और इस कोण के भीतर एक पवित के विभिन्न विन्दुओं से प्राप्त तरंगिकाएँ सन्निकटतः एक ही कला में हैं। 'फलतः' इस कोण के भीतर

घटित सभी धब्बे तीव्र ही होंगे। इस केन्द्रीय महत्तम के चारों ओर वृत्ताकार धारियों की शृंखला होती है, जो सकरी होती जाती है, और जिनके लिए उत्तरोत्तर बिन्दुओं की तरंगिकाओं में कलांतर 2π , 4π , आदि होता है। इन चोटियों के बीच पड़नेवाले क्रॉस-ग्रेटिंग प्ररूप के धब्बे क्षीण या लुप्त होंगे।

किकुची "N-प्ररूप" में पटल की मोटाई के आधार पर प्रत्याशित क्षेत्रफल से अधिक विस्तार तक धब्बे तीव्र पाये गये। यह बात थी जिसने वैंग को अपनी मणिभ विकृति^१ पर आधारित सिद्धान्त देने के लिए प्रेरित किया। ज्यों-ज्यों मणिभ मोटा लेते हैं, विकृति कम होती जाती है, और प्ररूप विषयक दूसरी व्याख्या लागू होती है। मणिभ मोटाई बढ़ने से व्यंजक (३ क) का केन्द्रीय महत्तम और बाहर के वलय तीक्ष्णतर होते जाते हैं, जिसके फलस्वरूप "L-प्ररूप" उत्पन्न होता है, जिसमें व्यंजक (३ क) के वलयाकार महत्तमों के ऊपर या उनके बहुत निकट पड़नेवाले धब्बे ही प्रकट होते हैं।

यदि कोई महत्त्वपूर्ण कटिवंध कक्ष आपाती किरण दंड की दिशा में ही होते के बजाय उससे एक छोटा कोण बनाये, तब भी दूसरा विवर्तन प्रतिबंध ऐसा होता है कि सकेन्द्र वृत्ताकार धारियों की एक शृंखला पर स्थित धब्बे महत्तम तीव्रता के होते हैं। केन्द्रीय धब्बा इन धारियों का केन्द्र नहीं होता। वह भी एक वृत्ताकार धारी पर स्थित होता है, शून्य कोटि^२ की धारी पर।

एक छोटा मणिभ गुटका क्रॉस-ग्रेटिंग के रूप में—अब एक छोटे मणिभ गुटके पर विचार करें जो प्रत्येक दिशा में लगभग 20 परमाणु मोटाई का है। किरण-दंड से लम्ब दिशा की किसी पंक्ति के लिए, क्रमिक बिन्दुओं से 0 दिशा में विकीर्णित तरंगिकाओं का पर्यांतर a ज्यादा होगा, जहाँ a बिन्दुओं के बीच की दूरी है। यह पर्यांतर दंड की दिशावाली किसी पंक्ति के उत्तरोत्तर बिन्दुओं से विकीर्णित तरंगिकाओं के पर्यांतर से बहुत अधिक होगा। इसलिए जब कि दंड के अभिलम्ब तल के परमाणु एक 20 बिन्दु वर्गवाली^३ क्रॉस ग्रेटिंग का काम करेंगे, और तीक्ष्ण धब्बे देंगे, दूसरे विवर्तन प्रतिबंध से 20 परमाणु की मोटाई (सामान्य वेग के इलेक्ट्रॉनों के लिए) कोई दृढ़ बंधन नहीं उत्पन्न कर सकेगी। अतः मणिभ का छोटा गुटका क्रॉस-ग्रेटिंग का व्यवहार करेगा। मणिभ को घुमाने से जब-जब कोई महत्त्वपूर्ण कटिवंध-अस किरण-दंड के समांतर या निकटतः समांतर आता है, एक द्विदिश प्ररूप प्रकट हो जाता है। यदि कोई

इलेक्ट्रान दंड ऐसे पटल से पारगमित हो जिनमें छोटे-छोटे मणिभ यदृच्छा से^१ वितरित हैं, तो फलित प्ररूप वलयों की एक श्रृंखला का बना होगा। हम इन्हें महत्वपूर्ण कटिवंघ अंशों से संगत क्रान्त-प्रेटिंग प्ररूपों के केन्द्रीय घट्टे के प्रति धूर्णन^२ से बना मान सकते हैं। यह कल्पना हो सकती है कि विभिन्न क्रान्त-प्रेटिंगे आपाती पुंज से यदृच्छ कोण बनाती हैं, जिनके कारण फलित प्ररूप अस्फुटित^३ हो जायेगा। किन्तु ऐसा नहीं होता क्योंकि जद्य आपात और विवर्तन के कोण छोटे होते तो किसी समतल प्रेडिंग से उत्पन्न विचलन^४ नियत होता है। यदि 0_1 और 0_2 अभिलम्ब से मापित आपात कोण और विवर्तन कोण हो, तो

$$b (\text{ज्या } 0_1 - \text{ज्या } 0_2) = n\lambda.$$

और 0_1 तथा 0_2 के छोटे होने की अवस्था में

$$b (0_1 - 0_2) = n\lambda$$

जिसमें $0_1 - 0_2$ विचलन है, और स्पष्टतः यह अक्षर $(= n\lambda/b)$ है।

इस प्रकार, जैसे पटल जी० पी० टामसन ने काम में लिये थे, वैसे विभिन्न पटलों से प्राप्त वलयाकार प्ररूपों की हमें एक और विकल्प^५ व्याख्या प्राप्त हो जाती है।

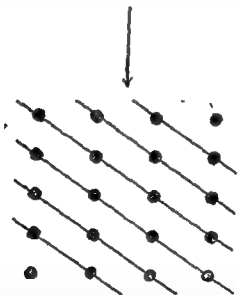
मणिभ आकार—इस प्रकार प्राप्त वलयों पर दृष्टिपात मात्र से हम पटल में मणिभों के आकार विषयक अनुमान लगा सकते हैं। यदि ये मणिभ बहुत ही छोटे, केवल कुछ परमाणु-वर्ग ही हों तो वे अल्प विभेदकता^६ के क्रान्त प्रेडिंग-जैसा व्यवहार करेंगे, जिसके फलस्वरूप वलय चौड़े होंगे और कभी-कभी प्रारोहित^७ भी हो जायेंगे। दूसरी ओर यदि मणिभ (इलेक्ट्रान-दंड की दृष्टि से) बड़े होंगे, तो दंड के पथ में कुछ ही मणिभ आयेंगे, और फलतः वलय घट्टों में बँट जायेंगे। सीमान्त अवस्था में यदि दंड के पथ में एक ही मणिभ पड़े तो वैसे फल आयेंगे जैसे किकुची के प्रयोगों में आते हैं।

दशितता^८ के प्रभाव—अब तक हमने बहुमणिभी पटलों के छोटे मणिभों की यदृच्छ जमावट का माना है, किन्तु व्यवहार में ये छोटे मणिभ अनेक बार किसी नियत प्रकार से दशित^९ होते हैं। यह पटल बनाने की विधि पर निर्भर होता है। उदाहरणतः, किसी पन्नी को ठंडी अवस्था में पीटने से दशितता उत्पन्न हो जाती है।

1. Randomly 2. Rotation 3. Blurred 4. Deviation 5. Alternative
6. Low resolution 7. Overlap 8. Orientation 9. Oriented

पर्याप्त सार्वता से मणिम ऐसे संस्थित होते हैं कि उनका एक अक्ष पटल के पृष्ठ से अभिलम्ब रहे। इस दशा में वलय-प्ररूप ऐसा होगा जैसा इस अक्ष के अभिलम्ब या लगभग अभिलम्ब तलों से प्राप्त क्रॉस-ग्रेटिंग प्ररूपों के धूर्णन से प्राप्त हो। उदाहरणतः, मान लीजिए हम सरल घनक मणिमों से बने एक पटल पर विचार करें, जिसमें मणिमों का (१००) अक्ष पटल के तल से अभिलम्ब हो। तब (१००) तल के विभिन्न अंतरणों से संगत वलय उत्पन्न होंगे, अर्थात् घन की कोर a , घन के फलक के कर्ण $a\sqrt{2}$, आदि अंतरणों से संगत वलय प्रकट होंगे। घन के पृष्ठ से, और फलतः पटल के पृष्ठ से बहुत कोण बनानेवाले तलों के अंतरणों से संगत वलय प्रकट नहीं होंगे। इस कारण से (III) तलों के अंतरणों के वलय प्रकट नहीं होंगे।

आकृति १४ से यह बात स्पष्ट हो जायेगी। इसमें घन बनावट को घन के फलक के कर्ण की दिशा से देखते बताया गया है। रेखाएँ (III) तलों को दर्शाती हैं, और



आकृति १४—घन के फलक के कर्ण की दिशा से दर्शित घन बनावट। तीर आपाती इलेक्ट्रान दंड की दिशा दिखाता है। स्पष्ट है कि इन तलों पर केवल बहुत उच्च कोटियोंवाले परावर्तन ही हो सकते हैं, क्योंकि इनके और दंड के बीच का

कोण लगभग 40° है। ये उच्च कोटियाँ अत्यन्त क्षीण होती हैं, और, जो भी हो, सामान्य केमरे में ये फोटोग्राफी प्लेट पर ही नहीं गिरेगी।

तो, इस प्रकार की दैशिकता का फल होता है कुछ ऐसे वलयों का लुप्त हो जाना, जिनकी केवल रचना गुणांक के विचार से हम आशा करते हैं। जब दैशिकता संपूर्ण नहीं होती है, तो प्रकट तो सभी वलय होंगे, किन्तु उनके बीच तीव्रता का वितरण बदल जायेगा। जब प्ररूप सुपरिचित नहीं होता तो वलयों के लोप होने या क्षीण होने के आधार पर दैशिक जमावट का पता लगाना कठिन होता है, और कोई अन्य परीक्षण आवश्यक होता है।

पटल को झुकाने का प्रभाव—यदि पटल में मणिभगण यदृच्छा से वितरित हों तो पटल को आपाती दंड के प्रति झुकाने से प्ररूप पर कोई प्रभाव नहीं होना चाहिए। यदि मणिभगण पटल के पृष्ठ से किन्हीं विशेष दिशाओं में संस्थित हों, तो पटल का झुकाव बदलने से प्रत्येक वलय के विभिन्न भागों में, और विभिन्न वलयों में आपस में तीव्रता का पुनर्वितरण होगा। सार्वतः, जो वलय पटल की दंड से अभिलम्ब स्थिति में पूर्ण तीव्रता से प्रकट होते हैं, वे ध्रुवनाक्ष^१ के समांतरवाले व्यास के सिरों की ओर के चापों पर वही तीव्रता दिखायेंगे, किन्तु अन्यत्र क्षीण हो जायेंगे। जो वलय प्रकट नहीं होते, या पटल के दंड से अभिलम्ब होने की अवस्था की तुलना में क्षीण होते हैं, उनके स्थान पर, जब-जब नति^२ का कोण किसी समुचित मान पर आता है, तब-तब चाप प्रकट हो जाते हैं।

“अतिरिक्त” वलय^३—अनेक प्रयोगकर्ताओं ने पारधमन द्वारा प्राप्त विवर्तन प्ररूपों में “अतिरिक्त” वलय पाये हैं। ये वलय, जो नमूने की सामान्य मणिभ रचना के ज्ञान से प्रत्याशित वलयों के अतिरिक्त प्रकट होते हैं, प्रायः सामान्य वलयों के भीतर स्थित होते हैं। इनके प्रकट होने के विषय में विभिन्न व्याख्याएँ दी गयी हैं, जिनमें अपद्रव्यों की कल्पना पर और अर्द्ध कोटि^४ के विवर्तन पर आधारित व्याख्याएँ भी हैं। फिच और सी० एच० सुन ने, वैद्युत विधि से निक्षेपित^५ धातु पटलों से काम करते हुए, ऐसे प्ररूप प्राप्त किये हैं, जिनमें अनेक “अतिरिक्त” वलय, और साथ ही कुछ वृत्ताकार पट्टियाँ^६ जिनकी चौड़ाई 30 से० मी० लम्बाई के केमरे पर लगभग 2-3 मि० मी० होती है। फिच^७ ने सुझाव दिया है कि ये प्रभाव धातु में गैस के वेधन^८ के कारण होते हैं जिससे रैटिस विकृत हो जाती है। उसके अनुसार पट्टियाँ तो रैटिस के लगातार

1. Axis of rotation 2. Tilt 3. Extra rings 4. Half order 5. Deposited
6. Bands 7. Penetration

प्रसार से उत्पन्न होती है, और तीव्रण बल्य उन भागों से जिनकी एक समान विद्युति हो जाती है। इस सिद्धान्त का आधार यह तथ्य है कि किसी समुचित गैस में पटल को तप्त करने से ये बल्य प्रकट होते हैं, और निर्वात में दीर्घकालिक तापन से लुप्त हो जाते हैं। यदि यह तापन ऐसी गैस में हो जो लैटिस में पहले से उपस्थित गैस को निकालने की प्रवृत्ति रखती हो (यथा आक्सिजन को निकालने के लिए हाइड्रोजन) तो बल्य अधिक शीघ्रता से लुप्त हो जाते हैं। फिच ने जिन पटलों का परीक्षण किया, उनके लिए वह इस सिद्धान्त के पक्ष में दिये गये प्रमाणों को पूर्ण मानता है, किन्तु यह मानता कि यह ध्यास्या सभी मामलों पर लागू होगी ठीक नहीं होगा। इन "अतिरिक्त" बलयों का एक विकल्प^१ कारण अंतिम अध्याय में प्रस्तुत किया जायगा।

अवशोषण^२ बल्य—फिच ने अभ्रक चूर्ण के प्ररूप में एक अवशोषण बल्य पाया है। वह बल्य फोटोग्राफी प्लेट पर द्रवित दीखता है। ऐसा प्रतीत होता है कि यह बल्य किसी अवशोषण प्रभाव के कारण है, जैसा कि कुची रेखाओं सम्बन्धी प्रभाव है।

परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक^३—अब तक हमने इलेक्ट्रान और मणिम रचना में स्थित परमाणुओं के विभिन्न भागों के बीच होनेवाली प्रक्रियाओं पर कोई विचार नहीं किया है; केवल बिन्दुओं के एक व्यूह^४ से उत्पन्न विवर्तन प्रभावों पर ही विचार किया है। ऐसा मान लिया गया है कि किसी समतल तरंग के आपात से इनमें से प्रत्येक बिन्दु एक द्वैतीयिक गोलाकार तरंगिका उत्पन्न करता है, जिसका आयाम^५ प्रकीर्णन कोण पर निर्भर नहीं होता। यह दृष्टिकोण सत्य की ओर एक सन्निकटन मात्र ही है। वास्तव में तो परमाणवीय आकार और आपाती बंड के इलेक्ट्रानों का तरंग-दैर्घ्य परिमाण में एक ही कोटि के हैं, इसलिए आशा करनी चाहिए कि परमाणु के विभिन्न भागों से प्रकीर्णित तरंगिकाओं में परस्पर व्यतिकरण^६ होगा, और इसके फलस्वरूप पूर्ण परमाणु से विकीर्ण तरंगिका का आयाम समस्त दिशाओं में समान नहीं होगा।

किसी नियत दिशा में प्रकीर्णित तरंग के आयाम के लिए एक व्यंजक सर्वप्रथम बीन^७ ने परिगणित किया था, और बाद में कुछ सरलीकृत रूप में मौट^८ ने।

प्रथम अध्याय में दिये गये इस तरंग समीकरण पर विचार कीजिए—

$$\nabla^2 \psi + 8 \frac{\pi^3 m}{h^2} (E - V) \psi = 0 \quad \dots \quad (4)$$

1. Alternative 2. Extinction 3. Atomic scattering factor 4. Array
5. Amplitude 6. Interference

इस समीकरण के जिस हल की हम खोज कर रहे हैं उसमें एक समतल आपाती तरंग तथा परमाणु से निकलती एक प्रकीर्णित तरंग का प्रतिदर्शन होना चाहिए। मान लीजिए हम आपाती किरण को x अक्ष पर चलता मानें, तो उसका स्वरूप होगा—

$$e^{2\pi i \left(vt - \frac{x}{\lambda} \right)}, \text{ और प्रकीर्णित किरण का स्वरूप होगा } r^{-1} f(\theta, \phi)$$

$$e^{2\pi i \left(vt - \frac{r}{\lambda} \right)}, \text{ जिसमें } f(\theta, \phi) \text{ घुबीय कोण } \theta, \phi \text{ द्वारा नियत दिशा में तरंग का आयाम है।}$$

यह पूर्णतः सार्व रूप से सिद्ध किया जा सकता है कि, यदि ξ कोई भी फलन हो, तो समीकरण

$$\nabla^2 \psi + k^2 \psi = \xi(x, y, z)$$

$$\text{का एक हल है } \psi = \frac{1}{4\pi} \iiint \frac{e^{-ik|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} \xi(x'y'z') dx' dy' dz', \dots (5)$$

जिसमें \mathbf{r} बिन्दु xyz है, और \mathbf{r}' बिन्दु $x'y'z'$ है। यह नियोग प्रत्येक आयतनांश से फैलती हुई एक तरंगिका को प्रदर्शित करता है, जिसका आयाम $\frac{1}{4\pi} \frac{\xi(xyz) dx dy dz}{R}$ है।

समीकरण (4) को इस रूप में लिखा जा सकता है—

$$(\nabla^2 + k^2) \psi = \frac{8\pi^2 m}{h^2} \cdot V \cdot \psi$$

इससे फल निकलता है कि समीकरण का पूर्णतः सार्व हल है—

$$\psi = \psi_0 + \iiint \frac{2\pi m}{h^2} V(x'y'z') \frac{e^{-ik|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|}}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}'|} \psi(x'y'z') dx' dy' dz'. (6)$$

क्योंकि सार्व हल प्राप्त करने के लिए बिशिष्ट हल में $(\nabla^2 + k^2)\psi = 0$ के पूर्णतः सार्व हल को जोड़ना होता है, जिसे हमने ψ_0 कहा है। यदि हम $\psi_0 = e^{-ikx}$ रखें,

1. Polar angle 2. Function 3. Vector 4. Element of volume
5. Particular solution

तो समीकरण (6) का दक्षिणांग एक आपाती तरंग तथा एक प्रकीर्णित तरंग प्रति-
दर्शित करता है। व्यंजक (6) में प्रकीर्णित तरंग का आयाम वही है जो हमें यह
मानने से प्राप्त होता कि प्रत्येक आयतनांश से आयाम

$$\frac{2\pi m}{h^2} V(xyz) \psi(xyz) dx dy dz / R \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (7)$$

की तरंगिका प्रकीर्णित होती है।

यद्यपि सिद्धान्ततः समीकरण (6) का एक हल निकालना सम्भव है, तथापि
व्यवहार में यह मानना आवश्यक पाया जाता है कि परमाणु के भीतर तरंग योड़ी
विकृत हो जाती है, और इसलिए समस्त प्रकीर्णित तरंगिकाएँ एक ही कला में उदित
होती हैं। यह मान्यता समीकरण (7) में ψ को ψ_0 के (अर्थात् e^{-ikx} के)
बराबर मान लेने के तुल्य है।

मान लीजिए आपाती किरण का आयाम इकाई होने की अवस्था में प्रति एकाक
आयतन से प्रकीर्णित तरंगिका के आयाम को हम $P(r)$ कहते हैं। मान लीजिए
O प्रकीर्णक माध्यम का केन्द्र है, और एक ऐसे तल OX पर विचार कीजिए जिससे
आपाती और प्रकीर्णित किरणें समान कोण θ बनाती हैं। इससे y दूरी पर एक समान्तर
तल पर विचार करें, तो इन दो तलों से प्रकीर्णित तरंगिकाओं में कलान्तर होगा
 μy , जिसमें $\mu = \frac{4\pi}{\lambda} \sin \theta$ इसलिए एक दीर्घ दूरी R पर प्रकीर्णित तरंगिकाओं का

परिणमित आयाम $\frac{E(\theta)}{R}$ इस प्रकार होगा—

$$\frac{E(\theta)}{R} = \frac{1}{R} \iiint e^{i\mu y} P(r) dx dy dz.$$

ध्रुवीय नियामकों में यह होगा

$$\frac{1}{R} \int_0^\infty \int_0^\pi e^{i\mu r \cos \theta} P(r) r^2 dr \sin \theta d\theta.$$

इसका 0 के लिए अनुकलन करने से प्राप्त होता है

1. Phase 2. Polar co-ordinates 3. Integration

$$\frac{1}{R} 4\pi \int_0^{\infty} \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu r} P(r) r^2 dr.$$

उपर (7) से

$$P(r) = -\frac{2\pi m}{h^2} V(xyz)$$

अतः R दूरी पर प्रकीर्णित तरंग का आयाम हुआ

$$\frac{E(\theta)}{R} = \frac{8\pi^2 m}{R h^2} \int_0^{\infty} \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu r} V(r) r^2 dr \quad \dots \quad (8)$$

क्योंकि हमने गोलीय सममिति¹ का विवरण मान लिया है, इसलिए हमें गीस के प्रमेय² से प्राप्त होता है

$$\nabla^2 V = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 4\pi P$$

(8) के एक खंड अनुकलन³ से

$$E(\theta) = \frac{8\pi^2 m}{h^2} \int_0^{\infty} \left[\frac{r \text{ कोज्या } \mu r}{\mu^2} - \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu^3} \right] \frac{\partial V}{\partial r} dr,$$

और एक और अनुकलन से

$$E(\theta) = \frac{8\pi^2 m}{h^2} \left[\left\{ \frac{r \text{ ज्या } \mu r}{\mu^3} \frac{\partial V}{\partial r} \right\}_0^{\infty} - \int_0^{\infty} \frac{\text{ज्या } \mu r}{\mu^3 r} 4\pi P(r) r^2 dr \right],$$

जो अन्ततः हो जाता है—

$$E(\theta) = \frac{8\pi^2 m c^2}{h^2} (Z-F) / \mu^2 \quad \dots \quad (9)$$

क्योंकि मूल बिन्दु पर $V \sim \frac{2e^2}{r}$. यदि F, X-किरणों के लिए परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक है।

व्यंजक (9) को इस रूप में लिख सकते हैं —

$$E(0) = \frac{mc^2}{2h^2} (Z - F) \frac{\lambda^2}{\sin^2 \theta} \quad \dots \quad (10)$$

परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक का प्रायोगिक निर्धारण—परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक के लिए प्राप्त उपर्युक्त व्यंजक¹ केवल स्वतंत्र परमाणु के लिए ही कठोरता से लागू होता है, वह भी इस मान्यता पर कि आपाती तरंग परमाणु द्वारा विकृत नहीं होती। यह सन्निकटन केवल द्रुत इलेक्ट्रानों के सम्बन्ध में ही उचित है, और यह पाया गया है कि यदि पर्याप्त वेगवान् इलेक्ट्रानों से प्रयोग करें तो मणिमों के परमाणुओं के लिए यह व्यंजक सन्निकटतः ठीक उतरता है। किन्तु ऐसी दशा में यह मान्यता कि मणिम में स्थित परमाणु में मोलीय सममिति है, स्पष्टतः असत्य है। व्यंजक (10) को, जिसे “E” गुणांक कहा जाता है, जी. पी. टॉमसन² ने तथा मार्क और वीलेंच ने बहुमणिमी³ धातु पटलों के पार द्रुत इलेक्ट्रानों के संचरण से प्राप्त प्ररूपों में तीव्रता के मापन द्वारा निर्धारित किया है। यहाँ हम टॉमसन की विधि की एक संक्षिप्त रूपरेखा देंगे।

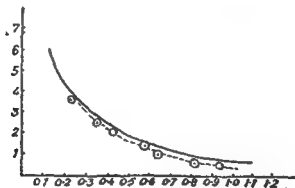
टॉमसन ने एक पतला स्वर्ण पटल लिया, और एक ज्ञात अनुपात के दो भिन्न प्रकाशकरण कालों⁴ से विवर्तन फोटो लिये, जिनमें परिस्फुटन⁵ बराबर दिया गया। इन दो प्ररूपों पर संगत त्रिज्यीय दिशाओं में दीप्तिमापन⁶ किया गया और दो वक्र खींचे गये जिनमें केन्द्रीय धम्बे से दूरी के साथ प्रकाशीय घनत्व⁷ का परिवर्तन व्यक्त किया जाता था। इनकी सहायता से लग (It)⁸ और घनत्व का सम्बन्ध दर्शानेवाला एक वक्र प्राप्त किया गया, जहाँ I इलेक्ट्रान तीव्रता है और t प्रकाशकरण काल है। इससे फिर एक वक्र प्राप्त किया गया जिसमें It के साथ प्रकाशीय घनत्व का परिणमन⁹ दिखाया गया था, और इस वक्र को बाद में प्लेट के किसी भी भाग पर मापित घनत्व से वहाँ टकरानेवाले इलेक्ट्रानों की तीव्रता परिणमित करने के लिए काम में लिया गया। यह मान लिया गया था कि प्लेट पर कालिख का घनत्व सदा I और t के गुणज It पर निर्भर रहता है। यह इलेक्ट्रानों के लिए सत्य है, ऐसा स्थापित किया जा चुका है।

1. Expression 2. Polycrystalline 3. Intensity 4. Exposure time
5. Development 6. Photometering 7. Optical density 8. Variation. *log (It)

फलों से "E" वक्र प्राप्त करने के लिए दो बातों के लिए मशोधन करना आवश्यक होता था, जिनका उल्लेख अभी नहीं किया गया है। एक तो किसी विशेष वलय के बनने में भाग लेनेवाले तलों की आपेक्षिक गरया को गणना में लेना पड़ता है। उदाहरणतः घन की कोर के $\sqrt{3}$ भाग के बराबर अतरण^१ से मगत वलय को बनाने में इतने मूच्याकों^२ वाले समान्तर तल-समूहों का परावर्तन भाग ले सकता है—

(111) (11-1) (1-11) (-111) (1-1-1) (-11-1) (-1-11) तथा (-1-1-1)।

फिर, बाहरी वलयों की परिधि अधिक होती है अतः केवल उसी कारण से बाहरी वलय कम तीव्र होंगे। इन दोनों कारणों को ध्यान में रखा गया था। आकृति १५ में सिद्धान्तित और प्रयोगात्मक वक्रों को साथ-साथ अंकित किया गया है। परमाणुओं के तापीय संचलन के लिए भी सशोधन लगाया गया था। पूर्ण रेखा स्वेच्छित मात्रकों^३ में $\frac{Z-F}{\text{ज्या}^2 0} \lambda^2$ को प्रदर्शित करती है, जबकि वृत्तों से प्रयोगात्मक बिन्दु व्यक्त हैं, जिनको वक्र पर एक स्थान पर फिट होने के लिए समुचित पैमाना दिया गया है।

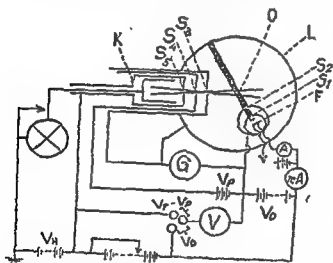


आकृति १५—एक स्वर्ण परमाणु द्वारा प्रकीर्णित इलेक्ट्रानगण। प्रति घन कोण में प्रकीर्णित संख्या कोट्यंक^४ के वर्ग से प्रतिदर्शित होती है। पूर्ण रेखा : परिगणित वक्र; बिन्दुमय रेखा : भणिम में उष्मीय संचलन^५ के लिए संशोधित वक्र; वृत्त : जी. पी. टामसन के लेख के प्रयोगात्मक पाठ्यांक।

1. Spacing 2. Indices 3. Arbitrary units 4. Ordinate 5. Thermal motion

मार्क और वीर्ल ने इनके समरूपी फल चाँदी और अल्यूमीनियम पटलों से प्राप्त किये हैं।

एक-परमाणवीय^१ गैसों में प्रकीर्णन—बहुत प्रारंभ में ही (1921) रायस्योर^२ ने पाया कि जब एक इलेक्ट्रान दंड को आरगन गैस में भेजा जाता है, तो परमाणु का प्रभावकारी काट-क्षेत्रफल^३ इलेक्ट्रानों की वोल्टता के साथ एक विचित्र प्रकार से परिवर्तित होता है। ज्यों-ज्यों वोल्टता कम करते जाते हैं, इस काट-क्षेत्रफल का मान गतिज सिद्धान्त^४ से परिगणित मान से कई गुना अधिक होता जाता है, और अंततः गिरकर गतिज सिद्धान्ती मान से काफी नीचे आ जाता है। बाद में यही प्रभाव अन्य गैसों के लिए भी पाया गया। किन्तु प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों के विक्षेप कोण^५ पर प्रेक्षण 1928 तक नहीं किये गये। उस वर्ष डाइमंड और वाटसन^६ ने इस प्रकार के प्रयोग किये, और अनेक अन्य कार्यकर्त्ताओं ने उनका अनुसरण किया। सब प्रारंभिक कार्य छोटे प्रकीर्णन कोणों तक ही सीमित रहे, किन्तु 1930 में बुलर्ड और मैसे^७ ने, तथा आनोट^८ ने स्वतंत्र रूप से, प्रयोग किये जिनमें 125° तक के प्रकीर्णन कोण मापे गये। आकृति १६ में आनोट द्वारा पारद वाष्प पर किये गये प्रयोगों में



प्रयुक्त उपकरण का स्वरूप प्रतिदर्शित किया गया है। F एक तप्त तंतु या, और उससे प्राप्त इलेक्ट्रान दीर्घ-छिद्र^१ S₁ और S₂ के पार स्वरित^२ होकर एक सकड़ा दंड बनाते थे। वे प्रकोष्ठ O में प्रकीर्णित होते थे, जिसमें गैस का दाब इतना कम रखा जाता था कि एकाधिक^३

आकृति १६—इलेक्ट्रान प्रकीर्णन के लिए आनोट का उपकरण।

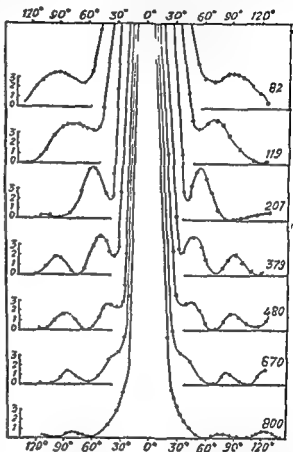
1. Monatomic 2. Cross-section 3. Kinetic theory 4. Angle of deflection
5. Slits 6. Accelerated 7. Multiple

प्रकीर्णन न हो। दंड की एक छोटी लम्बाई में से एक नियत कोण पर प्रकीर्णित इलेक्ट्रान दीर्घछिद्र S_3 और S_4 से गुजर कर एक फैराडे प्रकोष्ठ में एकत्र होते थे, जो एक विद्युन्मापी से सम्बद्ध रहता था। S_3 , S_4 और S_5 में अवमदक विभव लगा रहता था, ताकि 3 वोल्ट से अधिक ऊर्जा खोने वाले इलेक्ट्रान प्रवेशन कर सकें।

3 वोल्ट पारद के अनुनाद विभव से कुछ कम है, और उपर्युक्त व्यवस्था से फल यह होता था कि केवल प्रत्यास्यतः प्रकीर्णित इलेक्ट्रान ही एकत्र होते थे।

प्रकीर्णन कोण के साथ प्रति घन कोण में प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों की दशति हुए वक्र खींचे गये। वे आकृति १७ में दिखाये गये स्वरूप के पाये गये।

इन वक्रों के विषय में रोचक बात यह है कि छोटी वोल्टताओं के लिए कुछ कोणों पर महत्तम आते हैं। आर्नॉट और अन्य जनों ने अनेक गैसों पर ये प्रयोग किये हैं, और एक परमाणवीय गैसों से पारद वाष्प के समरूपी फल पाये हैं। उच्चतर वोल्टताओं पर कोण बढ़ने के साथ प्रकीर्णन में लगातार कमी होती जाती है, और फल बोरन के सिद्धान्त से ठीक मेल खाते हैं।



आकृति १७—पारद वाष्प में प्रत्यास्यतः प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों का कोणीय वितरण। ८२, ११९, २०७, ३७९, ४८०, ६७० और ८०० वोल्ट के इलेक्ट्रानों के वक्र दिखाये गये हैं।

यह कहा जा चुका है कि वॉर्न का सिद्धान्त, अपने मौलिक तथा मौट द्वारा शोधित दोनों स्वरूपों में, दो मान्यताओं पर आधारित है। यह मान लिया जाता है कि परमाणु एक स्थिर वितरणवाले चार्ज की भाँति व्यवहार करता है, और यह भी कि आने-वाली तरंग परमाणु के बल-क्षेत्र द्वारा विकृत नहीं होती। यद्यपि ये सन्निकटन^१ द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए संतोषजनक हैं, अल्प वोल्टता के इलेक्ट्रानों के लिए ये न्याय-संगत नहीं हैं। यही कारण है कि वॉर्न का सिद्धान्त अल्प वोल्टता के वक्रों में पाये गये महत्ताओं की व्याख्या नहीं कर सकता। फॉक्सेन और होल्त्समाक^२ ने परमाणवीय बलक्षेत्र से संगत वर्तनांक को गणना में लिया है, और गोलीय सममिति^३ के विभ्रव-क्षेत्रों के लिए प्रकीर्णन की गणना की है। इस सिद्धान्त द्वारा उद्धोषित फल ब्रुड^४ और मैसे द्वारा आर्गन में ६, १२ और ३० वोल्ट के इलेक्ट्रानों के लिए, तथा आर्नॉट द्वारा क्रिप्टोन में ५४ वोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए प्राप्त फलों से अच्छा मेल खाते हैं।

स्वतंत्र अणुओं द्वारा इलेक्ट्रानों का विवर्तन—इलेक्ट्रान विवर्तन का एक बहुत महत्वपूर्ण अनुप्रयोग^५ है गैसीय या वाष्प अवस्था में पदार्थों के परीक्षण में। X-किरण व्यतिकरण^६ प्ररूपों से किसी अणु में परमाणुओं के बीच की दूरी निर्णमित^७ करते की विधि का सैद्धान्तिक विकास सर्वप्रथम डेवार्ड^८ ने किया था, और उस सिद्धान्त को हम इलेक्ट्रानों के लिए अनुकूलित कर सकते हैं।

एक द्विपरमाणवीय अणु पर गिरती समतल तरंग पर विचार कीजिए। आकृति १८ में मान लीजिए A और B दो परमाणुओं का निरूपण करते हैं, और मान लीजिए उनके



आकृति १८—एक द्विपरमाणवीय अणु द्वारा समतल तरंग का प्रकीर्णन।

बीच की दूरी d है। यदि आपाती और प्रकीर्णित किरणों की दिशाएँ क्रमानुसार OA और AP हैं, और इन दिशाओं पर AB के प्रक्षेप^९ क्रमानुसार AM और AN है, तो A और B से AP दिशा में प्रकीर्णित किरणों के बीच पथान्तर $AM-AN$ होगा। अब OA तल^{१०} वर्धित PA पर बिन्दु E और S से अंकित कीजिए कि $AE=AS$, $AB=d$, तो

1. Approximations 2. Spherical symmetry 3. Application 4. Interference 5. Deduce 6. Projections

$$\begin{aligned} \text{पयान्तर } AM-AN &= AB \text{ का } OA \text{ पर प्रक्षेप } AB \text{ का } AP \text{ पर प्रक्षेप} \\ &= AE \text{ का } AB \text{ पर प्रक्षेप } AS \text{ का } AB \text{ पर प्रक्षेप} \\ &= ES \text{ का } AB \text{ पर प्रक्षेप} = 2d \cos \theta \text{ जहाँ } \theta = \frac{\phi}{2} \dots (11) \end{aligned}$$

जिसमें ϕ प्रकीर्णन का कोण है।

अब एक बहुपरमाणवीय अणु पर विचार कीजिए, जिसके परमाणु समान हों। आवश्यक नहीं है। ϕ दिशा में प्रकीर्णित तरंग का आयाम^१ ज्ञात करना है। मान लीजिए विभिन्न परमाणुओं द्वारा ϕ दिशा में प्रकीर्णित तरंगिकाओं के आयाम E_1, E_2 आदि हैं, और इनके बीच कलातर^२ r_{12}, r_{23} आदि हैं। एक बहुभुज खींचिए जिसकी भुजाएँ E_1, E_2 आदि हों, और बाह्य कोण r_{12}, r_{23} आदि हों। इस बहुभुज की वन्द करनेवाली भुजा फलित तरंग का आयाम निरूपित करेगी। अतः किसी एक अणु के लिए फलित तीव्रता I होगी

$$I = K \sum_1^n i \sum_1^n j E_i E_j \cos r_{ij} \dots \dots \dots (12)$$

क्योंकि अणु आपाती दंड के प्रति यद्च्छा से^३ वितरित होंगे, इसलिए कोज्या θ का मध्यमान ज्ञात करने के लिए θ के ० से π तक मान लेने होंगे।

$$\text{समीकरण (11) से } r = \frac{4\pi}{\lambda} d \cos \theta \text{ जहाँ } \theta = \frac{\phi}{2}$$

हमें $\int \cos r \cdot dr \int dr$ का मान ऐसी सीमाओं के बीच निकालना है कि ० का मान ० से π तक आवे। यह होगा—

$$\begin{aligned} \int_0^\pi \cos \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \cos \theta \right) \cos \theta \, d\theta &= \int_0^\pi \cos \theta \, d\theta \\ &= \frac{\sin \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \cos \theta \right)}{\frac{4\pi d}{\lambda}} \bigg|_0^\pi \\ &= \frac{\sin \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \cos \theta \right)}{\frac{4\pi d}{\lambda}} \bigg|_0^\pi \end{aligned}$$

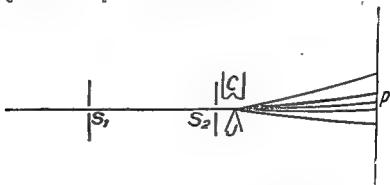
इस प्रकार अणुओं के एक छोटे बादल से ϕ कोण पर प्रकीर्णन की तीव्रता होगी

$$I(\phi) = \sum_1^n i \sum_1^n j E_i E_j \frac{\cos \alpha}{\alpha},$$

$$\text{जिसमें } \alpha = \frac{4\pi d}{\lambda} \cos \frac{\phi}{2}.$$

इस सिद्धान्त के व्यावहारिक अनुप्रयोग^१ के लिए कुछ जटिल गणनाएँ करनी होती हैं, यद्यपि यह कार्य उससे अधिक नहीं है जो मणिम अवस्था में अणुओं में परमाणुओं की स्थिति वेग को α -किरण विधि से निर्धारित करने में करना होता है। कुछ परमाणवीय अंतरणों^३ की मान्यता कर ली जाती है, और फिर इन्हें समजित^४ किया जाता है जब तक कि सिद्धान्तित वक्र प्रयोगात्मक वक्रों से फिट न बैठे।

प्रयोगात्मक विधियाँ—विश्लेषण की इस अत्यन्त प्रबल विधि का उपयोग करने में मार्क और वील^२ सर्वप्रथम थे। उनका उपकरण (आकृति १९) एकदम सादा था, जिसमें मूलतः एक विसर्ग^५ नली होती थी, जिससे इलेक्ट्रानों का एक बारीक दंड एक लम्बी मकड़ी नली $S_1 S_2$ के पार निकलता था। नली के दूरवाले सिरे के सामने एक चबू^६ J होती थी, जिससे प्रयोगाधीन वाष्प को दंड के पथ में प्रवाहित होने दिया जाता था। प्रत्येक को एक फोटोग्राफी प्लेट P पर अंकित किया जाता था, या दंड से अभिलम्ब और चबू से लगभग २० सें. मी. दूर रखे एक प्रतिदीप्त^४ पर्दे पर देखा जाता था। अत्युच्च निर्वात के केमरे में वाष्प सब ओर न फैल जाय, इसलिए वाष्प घारा को एक द्रववायु द्वारा शीतित पृष्ठ C पर गिराया जाता था।

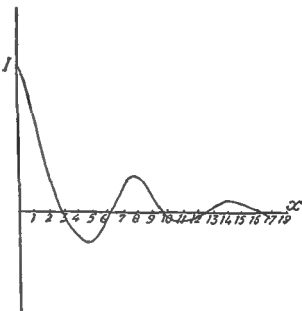


आकृति १९—वील के उपकरण का रेखाचित्रिय निरूपण।

- | | | | | |
|----------------|------------|-----------|--------------|--------|
| 1. Application | 2. Spacing | 3. Adjust | 4. Discharge | 5. Jet |
| 6. Fluorescent | | | | |

मान्यतः द्रवों का वाष्प-दाब काफी होता है, और केमरा में उच्च निर्वात के कारण प्व की तीव्र धारा उत्पन्न हो जाती है, किन्तु ठोसों को एक छोटी भट्टी में तप्त किया जाता था। एक घड़ीदार योजित्र^१ से चालित चुम्बकीय युक्ति द्वारा फोटो लेने की ल्या और चंचु से वाष्प का छोड़ना साथ-साथ किया जाता था। इलेक्ट्रानों का कीर्णन बहुत होने के कारण प्रकाशकरण^२ काल केवल बहुत अल्प (आधे सैकड़ की कोटि का) होता था। इसके कारण यह विधि, संगत x -किरण विधि की अपेक्षा, बहुत अधिक सुविधाप्रद और तेज हो जाती है।

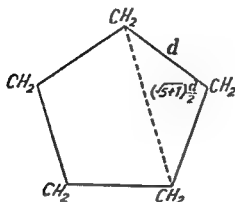
इस प्रकार अनुसंधानित प्रथम पदार्थ कार्बन चतुष्पल्लोराइड था, जिसमें कुछ दशाओं में सात तक महत्तम प्राप्त होते थे। फलों की व्याख्या करने के लिए अणु को चतुःशीपं^३ माना गया, और केन्द्रवाले हलके कार्बन परमाणु से उत्पन्न प्रकीर्णन की उपेक्षा कर दी गयी। सब केवल बर्तरीन परमाणुओं के बीच के अंतरण ही, जिन्हें बराबर मान लिया गया था, विचारणीय रह गये। यदि E पद^४ की उपेक्षा कर दें, तो प्रहप में



आकृति २०— फलन $I = \frac{\sin x}{x}$
के स्वरूप का निरूपण।

तीव्रता वितरण ज्या x/x के रूप का होना चाहिए। इस फलन^५ को आकृति २० में आलेखित दिखाया गया है, और यह देखा जा सकता है कि महत्तम ७.७३ और १४ पर आते हैं। इस प्रकार $7.73 = \frac{4\pi d}{\lambda} \cdot \frac{\sin \phi}{2}$; अतः तरंग-दैर्घ्य λ

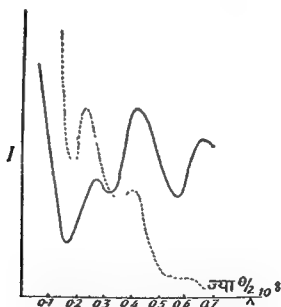
साया प्रथम महत्तम के कोण ϕ से d का मान निर्णयित किया जा सकता है।



आकृति २१—साइक्लोपेंटेन।

सामान्यतः तीव्रता वक्र इतना सरल नहीं होता। आकृति २२ में साइक्लोपेंटेन द्वारा प्रकीर्णन के लिए सिद्धान्तित तीव्रता वितरण दिखाया गया है। आणव स्वरूप समतल पंचभुज मान लिया गया है, जिससे सूत्र यह निकलता है—

$$I(\phi) = 5KE_c^2 \left(1 + \frac{2\text{ज्या } x}{x} + 2 \frac{\text{ज्या } (\sqrt{5}+1)\frac{x}{2}}{(\sqrt{5}+1)\frac{x}{2}} \right).$$



आकृति २२—साइक्लोपेंटेन में प्रकीर्णित इलेक्ट्रानों का सिद्धान्तित तीव्रता वितरण दिखाते हुए वक्र।

1. Molecular model 2. Plane pentagon

यदि E को अचर मान लिया जाय, तो विभिन्न सण्डों के अध्यारोप^१ से फलित तीव्रता वितरण आकृति २२ की पूर्ण रेखा से निरूपित होता है। बिन्दुमय रेखा से तीव्रता वक्र का वह रूप निरूपित होता है जिसमें परमाणवीय प्रकीर्णन गुणांक^२ E के परिवर्तन को गणना में ले लिया गया है। E को अचर मानने से महत्तमों की स्थिति में तो योड़ा ही अन्तर आता है, किन्तु सावें रूप से, विभिन्न वलयों की आपेक्षिक तीव्रताओं के लिए पूर्णतः गलत मान आते हैं।

इस विधि के अन्य सप्रयोजन हुए हैं; परमाणवीय आकारों^३ के निर्धारण में, ऐसी समस्याओं में जैसे किसी एलिफैंटिक या एरोमैटिक वधन^४ के लिए अतरणों की भिन्नता, और अणुओं के अन्तर्गत परमाणुओं की स्वतन्त्र चाल्यता^५ ज्ञात करना।

संदर्भ

- क—W. L. Bragg, *Nature*, 124, 125, 1929.
 ख—G. I. Finch, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.
 ग—M. Born, *Nachr. Ges. Wiss. Gottingen, Math.-physik. Klasse*, 146, 1926; *Z. Phys.*, 38, 803, 1926.
 घ—N. F. Mott, *Proc. Roy. Soc.*, 127A, 685, 1930.
 ङ—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, 125, 352, 1929.
 च—H. Mark and R. Wierl, *Z. Phys.*, 60, 741, 1930.
 छ—Ramsauer, *Ann. de Phys.*, 64, 513, 1921; 66, 546, 1921.
 ज—E. G. Dymond and E. E. Watson, *Proc. Roy. Soc.*, 122, 571, 1929.
 झ—E. C. Bullard and H. S. W. Massey, *Proc. Roy. Soc.*, 130, 579, 1931, 133, 637, 1931.
 ञ—F. L. Arnot, *Proc. Roy. Soc.*, 129, 361, 1930; 130, 655, 1931; 133, 615, 1931.
 ट—H. Faxen and J. Holtsmark, *Z. Phys.*, 45, 307, 1927.
 ठ—P. Debye, *Ann. de Phys.*, 46, 809, 1915.
 ड—R. Wierl, *Ann. de Phys.*, 8, 453, 1932; 8, 521, 1931.

अध्याय ४

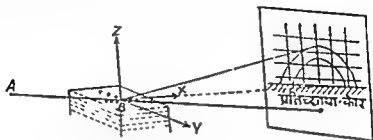
परावर्तन द्वारा विवर्तन

किसी एकाकी मणिभ के विदलन फलक^१ से परावर्तन द्वारा विवर्तन—जैसा अध्याय २ में कहा जा चुका है, किसी इलेक्ट्रान दंड को एक मणिभ के फलक पर अल्प कटाक्षी कोण^२ पर गिराने से प्ररूप प्राप्त किये जा सकते हैं। α -किरणोंवाली क्रिया की समता से इसे सामान्यतः परावर्तन प्ररूप कह दिया जाता है, किन्तु यह कठोरतः ठीक नहीं है। α -किरणों से किसी एक संस्थिति में एक ही घब्बा प्रकट होता है, और वह भी तब जब मणिभ दंड से एकदम ठीक कोण पर ही रखा हो। इलेक्ट्रान के बारे में ऐसा नहीं है, और इसीलिए इस समता पर बहुत जोर देना हानिप्रद है। कुछ तो इस समता पर लगातार जोर दिये जाने के ही कारण एकाकी मणिभ द्वारा इलेक्ट्रानों के विवर्तन की क्रिया भली-भाँति समझी नहीं जा सकी है। क्योंकि परमाणु α -किरणों की अपेक्षा इलेक्ट्रानों को प्रकीर्णित^३ करने में बहुत अधिक प्रभावकारी होते हैं, इसलिए इलेक्ट्रान प्रकीर्णन में कम मणिभ-तल क्रियाशील होते हैं, और फलतः शैल प्रति-घट (समीकरण ४, अध्याय १) काफी ढीलित^४ हो जाता है। इसके कारण एक ही समय में अनेक विवर्तित घब्बे प्रायः प्रकट होते हैं, और एक घब्बा तो मणिभ की लग-भग सभी संस्थितियों में (किन्तुची रेखाओं के अतिरिक्त, जो सभी अच्छे नमूनों के साथ सदा उपस्थित होती हैं) प्रकट होता है।

विवर्तन प्रतिबंधों पर विचार करने की किर्चनर की विधि—मणिभ के विभिन्न परमाणुओं से उत्पन्न तरंगिकाओं के प्रवलन^५ के प्रतिबन्धों में जो ढीलन इलेक्ट्रानों के लिए होती है, उसके विभिन्न प्रभावों के अध्ययन को सरल करने के लिए किर्चनर ने इन प्रतिबन्धों को एक बहुत सुविधाप्रद रूप में रखा है। आकृति २३ में AB इलेक्ट्रान दंड की निरूपित करती है, जो किसी मणिभ के एक विदलन-फलक पर एक

1. Cleavage face 2. Glancing angle 3. Scatter 4. relaxed 5. Reinforcement

अल्प कोण पर गिरता है। मणिभ के परमाणुओं को हम फलक के समान्तर तलों में



आकृति २३—प्रबल विवर्तित किरण के लिए आवश्यक प्रतिवन्धों को दिगाते हुए।

व्यवस्थित मान सकते हैं। परमाणुओं की किमी पवित्र में प्राप्त तरंगिकाएँ एक काला में हों, इसका प्रतिबन्ध यह है कि प्रकीर्णित किरण उस परमाणु-पवित्र को अर्ध मानकर वने अनेक शकुओं में से किमी एक पर अवस्थित हों। अब, प्रत्येक तल के परमाणुओं को समान्तर रेखाओं के दो सघातों के प्रतिच्छेद बिन्दुओं पर घटित मान सकते हैं, और मणिभ की प्रत्येक स्थिति में यह सदा सभ्य होगा कि हम रेखाओं के दो ऐसे सघातों को चुन लें, जिनमें से एक सन्निवृत्तः दड की ही दिशा में हो, और दूसरा उमने लम्ब दिशा में। परमाणुओं की पवितियों के इन दो सघातों में से प्रत्येक से सगत विवर्तन प्रतिवन्ध यह होगा कि प्रकीर्णित दड एक शकु-शृंखला पर स्थित हों। आपाती दड के समात्तरवाली पवित के लिए ये शकु-वर्ग प्लेट को अनेक गवैन्द्र वलयों में प्रतिच्छेदित करेंगे, और आपाती दड के लम्ब दिशा की पवितियों के लिए ये शकु-वर्ग प्लेट को मणिभ फलक से लम्ब दिशा में समान्तर सीधी रेखाओं में प्रतिच्छेदित करेंगे। (अधिक कठोरता से, ये बादवाली रेखाएँ अतिपरवलय होंगी, किन्तु प्लेट के सीमित फैलाव में इन्हें सीधी रेखाएँ ही मान सकते हैं।) एक तीसरा विवर्तन प्रतिबन्ध उत्तरोत्तर तलों में प्रकीर्णित तरंगिकाओं के व्यतिकरण से उत्पन्न होता है। इसके कारण मणिभ कोर की प्रतिच्छाया के समान्तर रेखाओं का एक सघात आता है। जहाँ ये तीनों प्रतिवन्ध पूरित होते हो, वही एक प्रबल विवर्तित दड घटित होगा।

इस स्थान पर यह रोचक होगा कि हम इन तीनों प्रतिवन्धों में से एक-एक में विलीन होने के प्रभावों पर अलग-अलग विचार करें। हमने आकृति २३ में अक्षों को

1. Wavelets 2. Phase 3. Cones 4. Sets 5. Intersection 6. Concentric
7. Hyperbola 8. Interference 9. Edge

x, y, z अंकित कर दिया है। x —अक्ष आपाती दंड से सन्निकटतः समांतर पंक्ति की दिशा में है, y —अक्ष इससे लम्ब दिशावाली पंक्ति के समांतर, और z —अक्ष मणिम फलक से अभिलम्ब है।

(क) अधिकतम सार्वता से ढीलित^१ होनेवाला प्रतिबन्ध z -प्रतिबन्ध है, और सदा यह माना जाता है कि मणिम में इलेक्ट्रान दंड की वेधन^२ क्षमता न्यून होने से ऐसा होता है। फलतः क्षैतिज-रेखाओं (y के समांतर) वाला प्रतिबन्ध केवल चौड़ी-चौड़ी पट्टियों में परिणत हो जाता है, जिनका फैलाव वेधन की मात्रा घटने के साथ बढ़ता जाता है। इस प्रकार वलयों और ऊर्ध्वाधर रेखाओं के अनेक प्रतिच्छेद-बिन्दु इन चौड़ी पट्टियों पर पड़ेंगे, और इन सब स्थानों पर घब्वे प्राप्त होंगे। मणिम की जिस संस्थिति^३ के लिए ये घब्वे पट्टी के मध्य में पड़ेंगे उस संस्थिति में ये तीक्ष्ण होंगे, किन्तु ज्यों-ज्यों आपात कोण बदला जाता है, ये घब्वे आपात कोण की काफी बड़े परास^४ तक बने रहेंगे। इसका समाधान इस तथ्य पर होता है कि जब कि ऋजु रेखाओं द्वारा निरूपित महत्तमों के दो संघात घूर्णन^५ के अल्प कोणों के लिए अचर रहते हैं, वलयाकार महत्तम ऐसे खिसकते हैं मानी के मणिम से दृढ़ता से बद्ध हों^{*}। z -प्रतिबन्ध के ढीलन से फलित प्ररूप का रूप आकृति २४ (a) में दिखाया गया है। अनेक मणिमों में यह गहराईवाला प्रतिबन्ध इतना ढीलित हो जाता है कि केन्द्रीय रेखा पर दो घब्वे प्रकट हो जाते हैं, जैसा इस आकृति में दिखाया गया है, और कुछ विशेष संस्थितियों में घब्वों के दो या अधिक वृत्त प्राप्त हो सकते हैं, जिनमें घब्वों की स्थितियाँ वलयाकार महत्तमों और ऊर्ध्वाधर रेखीय महत्तमों के प्रतिच्छेद-बिन्दुओं पर होंगी। ऐसे प्ररूप को प्रायः पृष्ठीय प्ररूप^६ कहा जाता है।

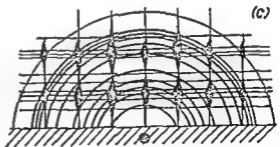
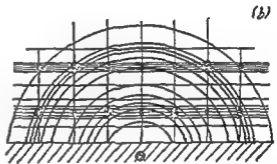
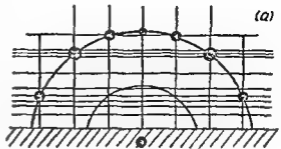
(ख) अब उस दशा का विचार करें जब x -प्रतिबन्ध में ढीलन होती है। ऐसा तब होगा जब आपाती दंड की दिशा में मणिम का विस्तार बहुत कम हो, लगभग ५० परमाणुओं की कोटि का। जैसा अध्याय २ में पतले मणिमों के पार संचरण^७ के सम्बन्ध में कह चुके हैं, दंड की दिशावाली किसी परमाणु-पंक्ति की विभेदकता^८ दंड से अभिलम्ब पंक्ति की तुलना में बहुत कम होती है। फलतः एक छोटे वर्गाकार

* यह ध्यान रखना चाहिय कि यद्यपि इन वलयों और रेखाओं की ऐसी बात करते हैं मानी वे वास्तविक हों तथापि यथार्थ में वे केवल सिद्धान्तित कल्पनाएँ ही हैं।

1. Relax 2. Penetration 3. Setting 4. Range 5. Rotation 6. Surface pattern 7. Transmission 8. Resolving power

मणिभ पृष्ठ से ऐसा प्ररूप प्राप्त हो सकता है जिसमें x -प्रतिवन्ध तो काफी ढीला हो, किन्तु y -प्रतिवन्ध फिर भी कठोर हो। इसलिए अनादरा^१ मणिभ में, जिसका पृष्ठ अनेक खण्डों^२ में बँट गया हो, किन्तु खण्डों की एक-दक्षितता^३ न बिगड़ी हो, ऐसे प्ररूपों की आशा की जायगी जिनका वर्णन अभी दिया जानेवाला है। व्यवहार में ऐसे प्ररूप प्रायः पाये जाते हैं।

यदि z -प्रतिवन्ध काफी दृढ़ हो, तो जहाँ-जहाँ उर्ध्वाधर रेखाएँ धैतिज रेखाओं को प्रतिच्छेदित करती हैं, वहाँ एक धक्का घटित होगा, जिसकी तीव्रता उस बिन्दु पर x -प्रतिवन्ध की परिकल्पित^४ तीव्रता से नियन्त्रित होगी। लगभग सदैव z प्रतिवन्ध कुछ ढीला ही होता है, और इसलिए ये धक्के मणिभ पृष्ठ और प्लेट की प्रतिच्छेद-रेखा* से लम्ब दिशा में खिचकर छोटी रेखाओं में परिणत हो जाते हैं। आकृति २४ (b) में प्ररूप का रूप प्रदर्शित है।



आकृति २४—विभिन्न विवर्तन प्रतिवन्धों के ढीलन से फलित प्ररूपों के स्वरूप।

*इस रेखा को सामान्यतः प्रतिच्छाया-कोर (Shadow edge) कहा जाता है, क्योंकि अविवर्तित धक्के की स्थिति और इसके बीच प्लेट पर लगभग कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

1. Imperfect 2. Blocks 3. Alignment 4 Hypothetical

(ग) एक तीसरे प्रकार का प्ररूप प्राप्त होता है x और z दोनों प्रतिबंधों के डीलन से। इस अवस्था में वलय और क्षैतिज रेखाएँ चौड़ी पट्टियाँ बन जाती हैं, और फलतः धब्बे खिचकर प्रतिच्छाया-कोर से लम्ब दिशा में रेखाएँ बन जाते हैं, जिनमें मुख्य तीव्रता वहाँ होती है जहाँ वृत्ताकार पट्टियाँ क्षैतिज रेखाओं को काटती हैं। प्ररूप का रूप आकृति २४ (c) में प्रदर्शित है, और उस प्ररूप से बहुत समरूपी होता है जो २४ (a) के प्रकार का प्ररूप देनेवाले मणिभ को दंड के अभिलम्ब और मणिभ पृष्ठ में स्थित अक्ष के प्रति घूर्णन से प्राप्त होता है।

यह याद रखना चाहिए कि आपाती और परावर्तन कोण बढ़ने पर प्रतिबन्ध वृद्धतर होते जाते हैं।

इस प्रकार के विचारों से हम समझ पाते हैं कि मणिभ को समुचित ऋण कोण^१ पर संस्थित^२ किये बिना भी धब्बे क्यों प्रकट होते हैं। किन्तु मणिभ के आन्तरिक विभव^३ के प्रभाव को ध्यान में रखना आवश्यक है। मंद इलेक्ट्रानों के विवर्तन के सम्बन्ध में हमका उल्लेख हो ही चुका है, और इसके कारण एक वर्तनांक कैसे उत्पन्न होता है इस पर अब विचार किया जायगा।

आन्तरिक विभव का प्रभाव—ब्रेथे^४ ने सर्वप्रथम सुझाव दिया कि महत्त्वों की प्रेक्षित और सिद्धान्तित स्थितियों में विपमता एक वर्तनांक के प्रभाव के कारण हो सकती है, जो मणिभ के भीतर एक मध्यमान आन्तरिक विभव से उत्पन्न होता है। वैसे तो यह दीखता है कि क्योंकि सम्पूर्ण मणिभ बराबर धनात्मक और ऋणात्मक चार्जों का बना है, इसलिए उसका विभव स्वतन्त्र आकाश^५ के विभव से भिन्न नहीं हो सकता। यदि चार्ज आकाश में सर्वत्र एकसमानतः फैले होते तो वास्तव में ऐसा ही होता, किन्तु परमाणवीय जमावट^६ के कारण मणिभ के भीतर के आकाश का मध्यमान विभव बाहरी शून्याकाश के विभव से उच्चतर होता है। सोमरफील्ड ने इस आन्तरिक विभव और उष्मायनी^७ कार्य फलन^८ के बीच सम्बन्ध व्यक्त करनेवाला एक व्यंजक^८ निकाला है।

यह बिल्कुल सरलता से दिखाया जा सकता है कि आन्तरिक विभव का प्रभाव एक वर्तनांक के रूप में प्रकट होता है। स्वतंत्र आकाश में इलेक्ट्रान तरंगों का तरंग-दैर्घ्य होता है—

1. Bragg angle 2. Set 3. Inner Potential 4. Free Space 5. Arrangement 6. Thermionic 7. Work function 8. Expression

$$\lambda = \frac{h}{mv}, \text{ जिसमें } \frac{1}{2}mv^2 = eP.$$

$$\text{अतः } \lambda = \frac{h}{\sqrt{2mecP}}$$

अब यदि इलेक्ट्रान एक घनात्मक विभव V_0 के क्षेत्र में प्रवेश करें, तो उनमें एक स्थितिज ऊर्जा $-eV_0$ आ जाती है, और क्योंकि उनकी समस्त ऊर्जा अचर^१ हानी चाहिए, उनका नया वेग v' ऐसा होगा

$$\frac{1}{2}mv'^2 = e(P + V_0).$$

$$\text{अर्थात् } v' = \sqrt{\frac{2e}{m}(P + V_0)}.$$

इस प्रकार V_0 विभववाले आकाश में तरंग दैर्घ्य होगा

$$\lambda' = \frac{h}{\sqrt{2me(P + V_0)}}$$

अतः वर्तनांक μ के लिए व्यंजक होगा

$$\mu = \frac{\lambda}{\lambda'} = \sqrt{\frac{P + V_0}{P}} = \sqrt{1 + \frac{V_0}{P}} \dots \dots \dots (1)$$

इससे तुरंत स्पष्ट होता है कि वर्तनांक आपाती इलेक्ट्रानों की वोल्टता P पर निर्भर होता है। मंद इलेक्ट्रानों के लिए इसके प्रभाव बहुत अधिक होते हैं। ३०,००० और उससे अधिक वोल्टता के इलेक्ट्रानों के लिए वर्तनांक बहुत कम होता है, किन्तु इसके प्रभाव महत्तमों की स्थिति-परिवर्तन के रूप में तब भी काफी सरलता से प्रकट हो जाते हैं। सभी महत्तम प्रतिच्छाया-कोर^१ की ओर सिसक जाते हैं।

आंतरिक विभव का मापन—अल्प वोल्टताओं पर आन्तरिक विभव का मापन जर्मर, हप, फार्न्सवर्थ और अन्यो ने किया है। यह कार्य मुख्यतः धातुओं से सम्बन्ध रखता है, और सार्वतः यह पाया गया है कि किसी एक भणित के लिए आन्तरिक विभव एक अचर-राशि होता है, जो आपाती इलेक्ट्रान दंड की वोल्टता पर निर्भर नहीं होता। किन्तु फार्न्सवर्थ पाता है कि ताँबे के लिए इसका मान प्रयुक्त इलेक्ट्रानों की वोल्टता के साथ स्पष्टतः बदलता रहता है। मंद इलेक्ट्रानों के साथ होनेवाले इस

1. Potential energy 2. Constant 3. Shadow edge

प्रभाव की, और अन्य प्रभावों की जिन पर आगे विचार होगा, पूर्णतः व्याख्या नहीं हो सकी है, यद्यपि यह सुझाव दिया गया है कि ये प्रभाव असामान्य विक्षेपण^१ अथवा पृष्ठीय अशुद्धियों^२ के कारण हों। आंतरिक विभव के कुछ ऋणात्मक मान जो पाये गये हैं, उनकी व्याख्या समभवतः इलेक्ट्रानों के आपात की क्रिया से नमूने पर एक पृष्ठीय चार्ज के एकत्र होने की मान्यता पर हो सकती है।

उच्च वोल्टताओं पर V_0 के मापन शीनोहारा, यामागुटी, डर्वीसायर, दीक्षित, टिलमैन, और दूसरों ने किये हैं। टिलमैन ने रौक साल्ट, यशद ब्लैंड^३, गलैना^४, पायराइट, स्टिबनाइट, फ्लोरस्पर, कैल्साइट, और जिप्सम से ३ से ५ किलोवोल्ट के परास में भी मापन किये हैं, और प्राप्त फलों में और २०-४० किलोवोल्ट के इलेक्ट्रानों से निर्धारित फलों में अच्छा मेल पाया है। विभिन्न प्रयोगकर्ताओं द्वारा प्राप्त फलों की एक सारणी नीचे दी जा रही है।

सारणी-१ कुछ मणिओं के आंतरिक विभव

नमूना	यामागुटी	शीनोहारा	टिलमैन	मध्यमान
रौकसाल्ट	77	63	72 उ. 60 नि	70
कैल्साइट	12.4	13.8	12.9 12.5	12.9
अभ्रक	10.6	10.4	—	10.5
यशद ब्लैंड	12.2	12.2*	12.6 12.1	12.3
गलैना	12.5 (दीक्षित)	—	14.1 13.1	13.3
स्टिबनाइट	11.9	—	14.7 —	13.3
जिप्सम	9.1	—	7.9 7.5	8.5
फ्लोरस्पर	—	15 (रायचर)	11.9 13.3	12.6
पैराइट	11.5	10.7 (जेक्स)	—	11.1

उ. और नि. क्रमानुसार पूर्वलिखित उच्च तथा निम्न वोल्टता के परासों को ध्यानत करते हैं।

* मियाके ने और किकुची तथा नाकागावा ने भी यही मान प्राप्त किया है।

1. Anomalous dispersion 2. Contamination 3. Zinc Blende 4. Galena

परायतन द्वारा विवर्तन

प्रयोगात्मक विधि—आंतरिक विभव मापने के लिए, जो विधि द्रुत इलेक्ट्रॉनों के लिए सर्वाधिक प्रचलित है, वह नमूने के विदलन फलक के समांतर तलों से परावर्तन द्वारा उत्पन्न ध्वनों की विभिन्न कोटियों की स्थितियों के मापन पर निर्भर है। सुविधा से किया जा सके, इस हेतु प्रायः एक "घूर्णन चित्र" लिया जाता है। प्लेट का प्रकाशन करते समय नमूने को धीरे-धीरे उम अक्ष पर घुमाया जाता है। मणिभ फलक में स्थित हो और आपाती दृष्टि से लम्बवत् हो। इससे आपात कोण धूम्य से एक ऐसे कोण तक बदलता है जो प्लेट पर आ सकनेवाली उच्चतम कोटि को लाने के लिए पर्याप्त हो। वैसे तो गहराई प्रतिबन्ध के ढीलन के कारण धूम्य कुछ-कुछ दीर्घित हो जायेंगे, किन्तु केन्द्रीय ध्वय और अन्य महत्तमों के बीच की दूरी सदैव लगभग १ प्रतिशत के भीतर मापी जा सकती है। कभी-कभी मापन प्लेट स्थान पर स्थित एक पर्दे पर किये जाते हैं।

वर्तनांक के कारण ध्वनों की स्थितियों पर क्या प्रभाव पड़ता है यह निम्नलिखित रूप से सरलता से ज्ञात किया जा सकता है। मान लीजिए इलेक्ट्रॉनों का एक मणिभ फलक से 0 कोण बनाता है, और मान लीजिए मणिभ के भीतर वित्त किरण $0'$ कोण बनाती है। तो वर्तनांक होगा

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{\pi}{2} - 0\right)}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - 0'\right)}$$

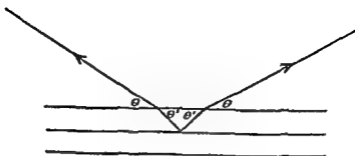
$$\begin{aligned}\text{अतः } \mu^2 - 1 &= (\cos^2 0 - \cos^2 0') / (1 - \cos^2 0') \\ &= (\sin^2 0' - \sin^2 0) / (1 - \cos^2 0')\end{aligned}$$

$$\text{किन्तु } \mu = \sqrt{1 + \frac{V_0}{P}}$$

$$\text{इसलिए } \frac{V_0}{P} = (\sin^2 0' - \sin^2 0) / (1 - \cos^2 0') \quad (2)$$

यदि 0 किसी विवर्तन महत्तम से संगत कोण हो, तो हम जानते हैं कि $2d \sin 0' = m\lambda$ (यदि तरंग-दैर्घ्य के परिवर्तन की उपेक्षा कर दें)।

1. Orders 2. Rotation picture 3. Exposure 4. Depth condition
5. Relaxation 6. Elongated index 7. Diffraction maximum



आकृति २५—आन्तरिक विभव का प्रभाव दिखाते हुए ।

इसलिए
$$\cos^2 \theta' = \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2} = \frac{150n^2}{4d^2P}$$

और इसे समीकरण (2) में रखने से

$$\frac{V_0}{P} = \left(\frac{150n^2}{4d^2P} - \cos^2 \theta \right) / (1 - \cos^2 \theta').$$

क्योंकि θ' सदा छोटा होता है, हम $(1 - \cos^2 \theta')$ को इकाई मान सकते हैं ।

इस प्रकार
$$P \cos^2 \theta = \frac{150n^2}{4d^2} - V_0 \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

जिसमें P और V_0 दोनों वोल्ट में व्यक्त हैं, और d एंगस्ट्रॉम में ।

इस प्रकार घूर्णन चित्र पर परावर्तन की विभिन्न कोटियों की स्थितियाँ (θ) मापकर फिर कोटि-संख्या n के वर्ग के साथ $P \cos^2 \theta$ का आलेखन करके हम आन्तरिक विभव V_0 ज्ञात कर सकते हैं । इस ग्राफ पर $P \cos^2 \theta$ अक्ष पर अन्तःखण्ड V_0 देता है, और रेखा का ढाल ϕ तलों का अंतरण देता है, क्योंकि $\phi = \frac{150}{4d^2}$

यथार्थ मान प्राप्त करने के लिए हमें एक सापेक्षवादी संशोधन लगाना चाहिए । इसके कारण P का मान $P(1 + eP/600 \cdot m_0 c^2)$ हो जाता है । यह ध्यान देने की बात है कि यदि V_0 काफी बड़ा हो तो n के कुछ मान समीकरण (3) को सन्तुष्ट नहीं करते, और तत्संगत कोटियाँ प्ररूप में नहीं आती ।

1. Rotation picture 2. Orders 3. Plot 4. Intercept 5. Spacing
6. Relativity

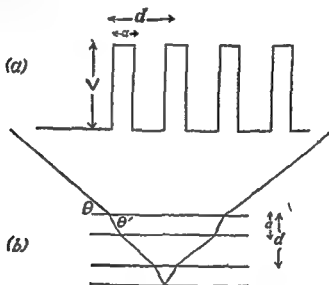
उच्च वोल्टताओं पर अधिकांश कार्यकर्ताओं ने इस विधि का उपयोग किया है, यद्यपि कुछ ने समीकरण (3) में n और 0 के मान रखाकर प्रत्येक कोटि के लिए अलग-अलग आन्तरिक विभव परिगणित किये हैं। अल्प वोल्टताओं पर भी इनके बहुत समरूप विधि काम में ली जाती है, मिलाय इनके कि 0 प्रायः अचर रखा जाता है और P में परिवर्तन किया जाता है।

उच्च वोल्टताओं पर मध्यमान आन्तरिक विभव के मापन की एक दूगरी विधि शीनोहारा ने काम में ली है। इसमें किन्तुची रेखाओं पर, विशेषकर प्रतिच्छाया कोर¹ के समांतरवाली रेखाओं पर, वर्तन के प्रभाव का अध्ययन किया जाता है। इस विषय में समीकरण (3) लागू होता है। किन्तुची रेखा और प्रतिच्छाया कोर के बीच की दूरी का नमूने से प्लेट की दूरी में भाग देकर कोण 0 निर्वारित किया जा सकता है। शीनोहारा ने प्रच्छाया कोर की स्थिति ज्ञात करने के लिए तिरछी² रेखाओं के उन भागों पर प्रेक्षण³ किये जिन पर वर्तन का बहुत कम ही प्रभाव पड़ता है, किन्तु टिलमैन ने, जिनने बाद में इस विधि को अपनाया, इसकी स्थिति को एक सरलतर और अधिक प्रत्यक्ष ढंग से निर्धारित किया। लगभग सब अवस्थाओं में प्ररूप की केन्द्रीय रेखा पर एक धब्बा दृश्य होता है, और, चाहे वर्तन हो या न हो, प्रच्छाया कोर इस धब्बे और अवि-वर्तित दंड से प्राप्त धब्बे के बीच ठीक आधी दूरी पर स्थित होना चाहिए। इस विधि से और इसमें पूर्व वर्णित विधि से प्राप्त आंतरिक विभव के मानों में निकट मेल है।

मणिम पुष्ठ पर आंतरिक विभव का घटना—यामागुटी ने पाइराइटों⁴ के प्राकृत⁵ मणिम फलकों के आन्तरिक विभव मापने का एक विवरण प्रकाशित किया है। घूर्णन विधि का ही प्रयोग किया गया है, किन्तु नमूने की व्यवस्था में थोड़ा हेर-फेर किया गया है ताकि केन्द्रीय धब्बे के दोनों ओर के प्ररूप प्राप्त हो सकें। महत्तमों की स्थितियों का अधिक यथार्थता से मापन करने के लिए सूक्ष्मदीप्तिमापी⁶ बक्र लिये गये, और प्रत्येक कोटि के लिए आंतरिक विभव अलग-अलग परिगणित किये गये। यह पाया गया कि अल्प कोटियों के लिए, उच्च कोटियों की अपेक्षा, आंतरिक विभव कम आता है। यह भी देखा गया है कि धब्बे आपात कोण की काफी बड़े परास पर फैले होते हैं, और यह फैलाव सममित⁷ नहीं होता, बड़े कोण की ओर तीव्रता अधिक तेजी से गिरती है। छोटे कोणों के लिए आंतरिक विभव कम होने की संभावना बंधे के गतिकीय⁸

1. Shadow edge 2. Oblique 3. Observation 4. Pyrites 5. Natural
6. Microphotometer 7. Symmetrical 8. Dynamical

सिद्धान्त से प्रकट होती है, जिस पर आगे विचार किया जायगा, और लास्कारपू^छ ने इसकी सिद्धान्तित व्याख्या दी है। अपने फलों की व्याख्या के लिए यामागुटी ने मणिभ के एक सरल मॉडल की कल्पना की, जो लास्कारपू द्वारा प्रयुक्त मॉडल के समान ही है, और जिसे चित्र २६ (a) में दिखाया गया है। उसने मान्यता की कि मणिभ में, उसके फलक से समांतर समतल गुटकों के रूप में, उच्च विभव के क्षेत्र घटित होते हैं। मान लीजिए इन गुटकों के बीच अंतरण d है, और उनकी चौड़ाई a है। तब मणिभ के भीतर किसी किरण का पथ वंसा होगा जैसा आकृति २६ (b) में दिखाया गया है।



आकृति २६—मणिभ के उस मॉडल को दर्शाते हुए जिसके आधार पर यामागुटी ने आपात कोण के साथ आभासी^१ आंतरिक विभव के परिवर्तन की व्याख्या दी है।

यदि आपाती किरण पृष्ठ से कोण θ बनाती है, और उच्च विभव के क्षेत्रों में किरण कोण θ' बनाती है, तो इन क्षेत्रों में वर्तनांक μ होने पर समीकरण

$$\mu^2 - 1 = \text{ज्या}^2 \theta' - \text{ज्या}^2 \theta$$

लागू होगा।

1. Regions 2. Apparent

यदि मध्यमान आंतरिक विभव V_0 है, और उच्च विभव के क्षेत्रों में विभव V है, तो

$$dV_0 = \alpha V,$$

$$\text{अतः} \quad (\mu^2 - 1)\alpha = (\mu_0^2 - 1)d,$$

जिसमें μ_0 मापित घर्तनांक है। यदि कोण θ एक विवर्तित दंड से सगत हो, तो दो सलग्न तलों के बीच पयातर हूंगा

$$n\lambda = 2\alpha \text{ ज्या } \theta' + 2(d - \alpha) \text{ ज्या } \theta,$$

यदि हम तरंग-दैर्घ्य के अल्प परिवर्तन की उपेक्षा करें तो।

इस प्रकार

$$\text{ज्या}^2 \theta' = \left(\frac{n\lambda - 2(d - \alpha) \text{ ज्या } \theta}{2\alpha} \right)^2$$

$$\begin{aligned} (\mu_0^2 - 1) &= \frac{\alpha}{d} (\mu^2 - 1) = -\frac{\alpha}{d} \text{ ज्या}^2 \theta + \frac{n^2 \lambda^2}{4\alpha d} \\ &\quad - \frac{\alpha}{d} \left(\frac{d - \alpha}{\alpha} \right) \frac{n\lambda}{\alpha} \text{ ज्या } \theta + \frac{\alpha}{d} \left(\frac{d - \alpha}{\alpha} \right)^2 \text{ ज्या}^2 \theta \\ &= \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2} \left\{ 1 + \left(\frac{d - \alpha}{\alpha} \right) \right\} - \text{ज्या}^2 \theta \left\{ 1 - \left(\frac{d - \alpha}{d} \right) \right\} \\ &\quad - \frac{d - \alpha}{d\alpha} \cdot n\lambda \text{ ज्या } \theta + \frac{\alpha}{d} \left(\frac{d - \alpha}{\alpha} \right)^2 \text{ ज्या}^2 \theta \\ &= \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2} - \text{ज्या}^2 \theta + \frac{d - \alpha}{\alpha} \cdot \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2} - \frac{d - \alpha}{d\alpha} \cdot n\lambda \text{ ज्या } \theta \\ &\quad + (d - \alpha) \left(\frac{1}{d} + \frac{d - \alpha}{\alpha d} \right) \text{ ज्या}^2 \theta \end{aligned}$$

$$\frac{V_0}{P} = \frac{n^2 \lambda^2}{4d^2} - \text{ज्या}^2 \theta + \frac{d - \alpha}{\alpha} \left(\frac{n\lambda}{2d} - \text{ज्या } \theta \right)^2 \dots \dots (4)$$

समीकरण (3) से इसकी तुलना करके देखा जा सकता है कि एकमात्र संशोधक पद

$$\frac{d - \alpha}{\alpha} \left(\text{ज्या } \theta - \frac{n\lambda}{2d} \right)^2 \text{ है।}$$

1. Adjacent

नहीं आते, अर्थात् जो उभी तरंग-दैर्घ्य की x -किरणों से नहीं आने चाहिए। इनकी उपस्थिति से उलझन पैदा हो जाती है।

ये महत्तम, जो विभिन्न प्रकृतियों के होते हैं, निम्नलिखित कारणों के अनुसार वर्गीकृत हो सकते हैं—

(१) पृष्ठीय ग्रेटिंग^१ से परावर्तन।

(२) सरल सिद्धान्त के अनुसार द्रव्य आंतरिक विभव पर प्रत्याशित स्थितियों पर पड़नेवाले महत्तम। ये पृष्ठ पर की सीढ़ियों^२ से परावर्तित तरंगिकाओं के बीच व्यतिकरण^३ से उत्पन्न होते माने जाते हैं।

(३) रचना गुणांक^४, अर्द्ध कोटियाँ^५, आदि द्वारा वर्जित स्थितियों पर पड़ने वाले महत्तम।

(४) महत्तमों की बारीक रचना^६।

इनमें से (१) तथा (२) वर्ग के महत्तम सामान्यतः क्षीण होते हैं, क्योंकि इनका उद्गम पृष्ठों पर ही होता है।

वर्जित महत्तमों की व्याख्या प्रायः मणिभ के पृष्ठ पर गैस की एक तह या मणिभ की लैटिस में घुसी गैस के आधार पर की जा सकती है। ऐसी अवस्था में नमूने को गरम करने से ये महत्तम सामान्यतः क्षीण या लुप्त हो जाते हैं। किन्तु यह व्याख्या सब बार नहीं लागू होती, और अभी यह पूर्णतः समझ में नहीं आया है कि कुछ वर्जित कोटियाँ क्यों प्रकट होती हैं।

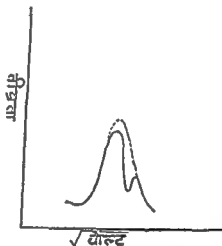
बारीक रचना नामक प्रभाव को सर्वप्रथम फान्संवर्थ ने देखा। वोल्टता के वर्गमूल के साथ परावर्तन की तीव्रता दशनिवाले वक्र में महत्तमों के निकट ही गौण^७ कोटियाँ आती हैं। दो थोड़े-से भिन्न आपात कोणों के लिए खींचे गये वक्रों में इन कोटियों की बिल्कुल भिन्न जमावटें पायी जाती हैं।

लास्कार्यू ने, गतिकीय^८ सिद्धान्त पर आधारित, एक व्याख्या दी है, जो बारीक रचना सम्बन्धी प्रभाव का समाधान करती है। ज्यों-ज्यों आपाती दंड की वोल्टता बढ़ाते हैं, ऐसे मणिभ तलों से, जो पृष्ठ के समांतर न हों, अन्य महत्तम उत्पन्न होते हैं। इन महत्तमों के प्रकट होने से उस केन्द्रीय रेखिल महत्तम की तीव्रता घट जायगी जिसका

1. Surface grating 2. Steps 3. Interference 4. Structure factor
5. Half orders 6. Fine structure 7. Subsidiary 8. Dynamical

प्रेक्षण किया जा रहा है। इसके फलस्वरूप चोटी में एक अवनमन आ जाता है, जैसा आकृति २८ में दिखाया गया है। पूर्ण रेखा से प्रेक्षित स्वरूप में चोटी को दिखाया गया है और बिन्दुमय रेखा से वह स्वरूप जो अन्य महत्तमों के प्रकट न होने पर होना चाहिए था। यह ध्यान देने की बात है कि प्रेक्षित स्वरूप का प्रमुख महत्तम बिन्दुमय वक्र के महत्तम से खिसका हुआ है। इस विचार का अनुसरण करते हुए लास्कारचू ने फार्न्सवर्थ के प्रेक्षणों से ताम्र के आंतरिक विभव का पुनर्निर्धारण किया है। ऐसा करने पर उसने पाया कि आंतरिक विभव को कोण के साथ आलेखित करने से एक चिक्कण वक्र प्राप्त होता है, अनियमित परिणमन नहीं होता, जैसा फार्न्सवर्थ ने समझा था।

फार्न्सवर्थ ने यह भी पाया कि आपात और परावर्तन के एक ही कोणों के लिए स्वर्ण और चाँदी के मणिभों से प्राप्त विभिन्न महत्तमों की स्थिति और रचना में बहुत अंतर आते हैं। क्योंकि इन दोनों मणिभों की एक ही रचना है, और लैटिस स्थिरांक भी ०.४ प्रतिशत के भीतर एक ही है, इन अंतरों का कारण या तो पृष्ठीय अंतरों में निहित हो सकता है, या परमाणु-गण अंतरों में। स्वर्ण के किसी मणिभ पर निक्षिप्त चाँदी की एक



आकृति २८—बारीक रचना।

पतली तह से प्राप्त प्ररूप सार्व रूप से वही आया जो ठोस चाँदी के गुटके में। फार्न्सवर्थ का विचार है कि चाँदी के इस पतले पटल में संभवतः उसी प्रकार का पृष्ठ है जैसा स्वर्ण के गुटके का, और क्योंकि इसका प्ररूप (पैटर्न) ठोस चाँदी के गुटके के प्ररूप जैसा ही है, वे इस प्रमाण की स्वर्ण और चाँदी के प्ररूपों की भिन्नता की पृष्ठीय प्रभावों के कारण मानने के सिद्धान्त के पक्का मानते हैं। फिर भी वे कहते हैं कि यह प्रमाण निश्चयात्मक नहीं है। यदि इन दो धातुओं के प्ररूपों का यह अंतर निर्गो पृष्ठीय प्रभाव के कारण नहीं है, तो यह किसी ऐसे परमाणु गत प्रभाव के कारण होना चाहिए जिसे बारीक रचना की उपर्युक्त व्याख्या में सम्मिलित नहीं किया गया है।

1. Plot 2. Smooth 3. Irregular 4. Variation 5. Deposited

इलेक्ट्रान वियर्तन का विक्षेपण¹ सिद्धान्त—विगत वर्णन से स्पष्ट होगा कि, कम से कम द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए, एकाकी भण्ड के विदलन फलक² से परावर्तन द्वारा प्राप्त प्ररूप के प्रमुख गुणों की व्याख्या हो सकती है, किन्तु अभी तक ऐसा कोई सिद्धान्त नहीं है जो प्रेषित तीव्रता वितरण³ की भलीभाँति व्याख्या कर सके। ऐसा कोई सिद्धान्त स्थापित करने के लिए, जो प्रत्याशित तीव्रता वितरण का कोई विवरण दे सके, आपाती और विवर्तित इलेक्ट्रान दंडों के बीच ऊर्जा⁴ के विनिमय पर विचार करना आवश्यक है। α -किरण वियर्तन के धारे में भी एक ऐसी ही समस्या आती है, और डारविन तथा ईबाल्ड दोनों ने एक विक्षेपण सिद्धान्त प्रतिपादित किया है, जो विभिन्न कोटियों के बीच तीव्रता वितरण की परिगणना देता है। इन सिद्धान्तित फलों का प्रयोगात्मक फलों से निकट मेल आता है।

इलेक्ट्रानों के लिए वेबे ने एक गतिशील⁵ सिद्धान्त दिया है जो α -किरण सम्बंधी विक्षेपण सिद्धान्त से निकटतः संबंधित है। वह भण्ड को एक तिहरी फूरियर श्रेणी⁶ से निरूपित विभव वितरण⁷ मानता है, और उसमें डी ब्रोगली तरंगों के संचरण पर विचार करता है। विभव के लिए जो व्यंजक⁸ है उसे तरंग समीकरण में सम्मिलित किया जाता है, और एक फूरियर श्रेणी के रूप में उसका हल निकाला जाता है। यह हल समतल तरंगों की एक श्रेणी को निरूपित करता है, जिनकी दिशाएँ विवर्तित दंडों की समस्त संभव दिशाएँ हैं, और जिनकी तीव्रताएँ परस्पर परतंत्र हैं। मंद इलेक्ट्रानों के लिए निर्बल दंडों का प्रभाव सबल दंड की तीव्रता पर बहुत होता है, किन्तु द्रुत इलेक्ट्रानों के लिए निर्बल दंडों की सख्या कम होनी चाहिए और उनका प्रभाव उपेक्षणीय। वेबे ने उस केस⁹ की गणना की है जब केवल एक ही सबल विवर्तित दंड प्रकट होता है, और पाया है कि आपात कोण के एक छोटे परास¹⁰ के लिए परावर्तन पूर्ण होता है, और इस परास के बाहर वह वास्तव में बहुत ही तेजी से गिरता है। यह परिगणना ठीक α -किरणों के विषय में डारविन के सिद्धान्त की परिगणनाओं जैसी है, किन्तु जबकि α -किरणों में सिद्धान्त और प्रयोग में सामंजस्य अच्छा है, इलेक्ट्रानों के लिए प्रेषित फैलाव सिद्धान्तित परिगणना से बहुत अधिक है। उदाहरणतः, हीरे के (333) परावर्तन में, 30000 वोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए, सिद्धान्तित फैलाव 2' की कोटि का होता

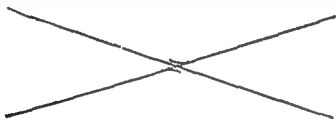
1. Dispersion 2. Cleavage face 3. Intensity distribution 4. Energy
5. Dynamical 6. Triple Fourier Series 7. Potential distribution 8. Ex-
pression 9. Case 10. Range

कोणों पर एक परावर्तित धब्बा होगा, यद्यपि उसकी तीव्रता में परिणमन^१ होगा। मणिभ के सत्य ब्रैग कोण पर आपाती दंड का जो भाग ऊपर की तहों को पार कर जाता है, वह मणिभ के मूल आयतन में भी परावर्तित हो जायगा, जहाँ अंतरण एकसमान है, और वेबे का सिद्धान्त लागू होता है। यह सिद्धान्त धब्बों के काफी परास के कोण तक फैलाव की एक संभव व्याख्या तो करता ही है, साथ ही प्रत्यास्थतः^२ प्रकीर्णित विसरित विकिरण^३ का कारण भी बता सकता है, मणिभ के मूल आयतन में जिसके मुवि-शिष्ट^४ परावर्तन से तीव्र किबुची रेखाएँ उत्पन्न होती हैं।

ब्रैग कोण पर वेबे का सिद्धान्त बताता है कि परावर्तन पूर्ण होगा। यह प्रयोग से मेल नहीं खाता। मंद इलेक्ट्रानों के लिए एहरेनबर्ग का परिमाण^५ है कि परावर्तित दंड की तीव्रता आपाती दंड की तीव्रता की 10^{-3} से 10^{-4} गुनी है, जबकि बीचिंग ने 40 किलोवोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए आपाती दंड और विवर्तित दंड की तीव्रता का अनुपात लगभग 100 : 1 पाया है। इस अनुपात के निर्धारण में इस बात को गणना में नहीं लिया गया है कि आपाती दंड कठोरतः समांतर न होकर 5' की कोटि के फैलाव का था। इसका प्रभाव विवर्तित दंड की तीव्रता को कम करनेवाला होगा, क्योंकि सभी इलेक्ट्रान सही ब्रैग कोण पर आपातित नहीं होंगे, किन्तु फिर भी सिद्धांतित और प्रेक्षित तीव्रता के विपुल अंतर का समाधान इससे नहीं होगा, विशेषतः इसलिए कि वेबे के सिद्धान्त के अनुसार कोण की कई कला^६ परास तक परावर्तन पूर्ण होना चाहिए। निश्चय ही, यह विभेद अधिकांशतः इसलिए है कि वेबे का सिद्धान्त अवशोषण^७ को गणना में नहीं लेता, और हम संकेत कर ही चुके हैं कि यह एक महत्वपूर्ण बात है।

किबुची रेखाएँ—जैसा इस अध्याय के प्रारंभ में कहा गया है, किसी एकाकी मणिभ के एक विदलन^८ फलक पर परावर्तन से प्राप्त विवर्तन प्ररूप सदैव अनेक पतली काली और श्वेत रेखाओं से कटा होता है, जो उसी प्रकार की होती हैं जिन्हें सर्वप्रथम किबुची ने अपने अन्नक के पार संचरणवाले प्रयोगों में देखा था, और जो निश्चयतः उसी प्रकार उत्पन्न भी होती हैं। यहाँ काली और श्वेत का फोटोग्राफी प्लेट पर समझना चाहिए, अर्थात् काली रेखा पृष्ठभूमि से अधिक इलेक्ट्रान तीव्रता की रेखा है, और श्वेत रेखा कम तीव्रता की। जैसा पारगमन संबंधी प्ररूपों में होता है, और जैसा उनकी

उत्पत्ति संबंधी सिद्धान्त यदि सत्य हों तो, होना ही चाहिए, काली और श्वेत रेखाएँ मदायुग्मों में प्रकट होती हैं, और श्वेत रेखा गदा अविक्षेपित^१ दृष्ट में निकटतर होती है। मगत काली और श्वेत रेखाओं के बीच की दूरी उन विक्षेप के बराबर होती है जो जो उन रेखाओं को उत्पन्न करनेवाले तल-गघात^२ पर ग्रैंग परावर्तन से उत्पन्न होता है (ये रेखाएँ उस तल गघात के समांतर होंगी)। अधिकान्त मणिभों के साथ, किन्हीं भी आपात कोण पर, प्रतिच्छेदा-कोर^३ के समांतर अनेक काली रेखाओं की कोटियाँ प्रकट



आकृति २९—यह बताते हुए कि किबुची रेखाएँ कैसे प्रतिच्छेद^४ करती हैं।

होती हैं। ये विदलन तलों से परावर्तन द्वारा उत्पन्न होती हैं, और ये ही वे रेखाएँ हैं जिनका उपयोग शीनोहारा ने आंतरिक विभय मापने में किया था। इनके अतिरिक्त कुछ विकर्ण^५ रेखाएँ होती हैं जो बहुत जटिल प्ररूप पैदा करती हैं, विशेषकर मणिभ की कुछ सममित संस्थितियों^६ में, जैसा मुखपृष्ठ के चित्र ३ में स्पष्ट होगा। उल्लेख न केवल रेखाओं के आधिक्य से उत्पन्न होती है, बल्कि इसलिए भी कि जहाँ ये रेखाएँ प्रतिच्छेद^४ करती हैं वहाँ इनमें परस्पर व्यतिकरण^७ होता है। जब दो रेखाएँ काटती हैं, तो आकृति २९ में बताये गये ढंग से काटती हैं और इसकी एक सभादित व्याख्या, वेधे सिद्धान्त के आधार पर, शीनोहारा^८ ने दी है। किबुची रेखाओं के पारस्परिक व्यतिकरण को दृष्टि में रखकर हम यह मानने को बाध्य होते हैं कि बहुज^९ प्रकीर्णनों में से अंतिम तो प्रत्यास्थी^{१०} है ही, चाहे प्रारम्भवाले अप्रत्यास्थी ही हों।

एक और ध्यान देने योग्य बात यह प्ररूप है जो मणिभ के एक तल-गघात को आपात तल के समांतर, या लगभग समांतर सस्थित करने से प्राप्त होता है। ऐसी

1. Undelected 2. Set of planes 3. Shadow edge 4. Intersect
5. Diagonal 6. Symmetrical settings 7. Interference 8. Multiple 9. Elastic

कोणों पर एक परावर्तित धब्बा होगा, यद्यपि उसकी तीव्रता में परिणमन^१ होगा। मणिम के सत्य ग्रैग कोण पर आपाती दंड का जो भाग ऊपर की तहों का पार कर जाता है, वह मणिम के मूल आयतन में भी परावर्तित हो जायगा, जहाँ अंतरण एकगमान है, और वेबे का सिद्धान्त लागू होता है। यह सिद्धान्त धब्बों के काफी परास के कोण तक फैलाव की एक समझ व्याख्या तो करता ही है, साथ ही प्रत्यास्थतः^२ प्रकीर्णित विमरित विकिरण^३ का कारण भी बता सकता है, मणिम के मूल आयतन में जिसके सुवि-
शिष्ट^४ परावर्तन से तीव्र किन्तुची रेखाएँ उत्पन्न होती हैं।

ग्रैग कोण पर वेबे का सिद्धान्त बताता है कि परावर्तन पूर्ण होगा। यह प्रयोग से मेल नहीं खाता। मर इलेक्ट्रानों के लिए एहरेनबर्ग का परिमाण^५ है कि परावर्तित दंड की तीव्रता आपाती दंड की तीव्रता की 10^{-2} से 10^{-4} गुनी है, जबकि बोर्चिंग ने 40 किलोवोल्ट इलेक्ट्रानों के लिए आपाती दंड और विवर्तित दंड की तीव्रता का अनुपात लगभग 100 : 1 पाया है। इस अनुपात के निर्धारण में इस बात को गणना में नहीं लिया गया है कि आपाती दंड कठोरतः समांतर न होकर 5' की कोटि के फैलाव का था। इसका प्रभाव विवर्तित दंड की तीव्रता को कम करनेवाला होगा, क्योंकि सभी इलेक्ट्रान सही ग्रैग कोण पर आपातित नहीं होंगे, किन्तु फिर भी सिद्धान्त और प्रेक्षित तीव्रता के विपुल अंतर का समाधान इससे नहीं होगा, विशेषतः इसलिए कि वेबे के सिद्धान्त के अनुसार कोण की कई कला^६ परास तक परावर्तन पूर्ण होना चाहिए। निश्चय ही, यह विभेद अधिकांशतः इसलिए है कि वेबे का सिद्धान्त अवशोषण^७ को गणना में नहीं लेता, और हम संकेत कर ही चुके हैं कि यह एक महत्वपूर्ण बात है।

किन्तुची रेखाएँ—जैसा इस अध्याय के प्रारंभ में कहा गया है, किसी एकाकी मणिम के एक विदलन^८ फलक पर परावर्तन से प्राप्त विवर्तन प्ररूप सदैव अनेक पतली काली और श्वेत रेखाओं से कटा होता है, जो उसी प्रकार की होती हैं जिन्हें सर्वप्रथम किन्तुची ने अपने अभ्रक के पार संचरणवाले प्रयोगों में देखा था, और जो निश्चयतः उसी प्रकार उत्पन्न भी होती हैं। यहाँ काली और श्वेत को फोटोग्राफी प्लेट पर समझना चाहिए, अर्थात् काली रेखा पृष्ठभूमि से अधिक इलेक्ट्रान तीव्रता की रेखा है, और श्वेत रेखा कम तीव्रता की। जैसा पारगमन संबंधी प्ररूपों में होता है, और जैसा उनकी

1. Variation 2. Elastical 3. Diffuse radiation 4. Selective
5. Estimate 6. Minutes of arc 7. Absorption 8. Cleavage

उत्पत्ति संबंधी सिद्धान्त यदि सत्य हो तो, होना ही चाहिए, काली और श्वेत रेखाएँ सदा युग्मों में प्रकट होती हैं, और श्वेत रेखा सदा अवशोषित^१ दृष्ट से निकटतर होती है। संगत काली और श्वेत रेखाओं के बीच की दूरी उम विक्षेप के बराबर होती है जो जो उन रेखाओं को उत्पन्न करनेवाले तल-संघात^२ पर घूँग परावर्तन से उत्पन्न होता है (ये रेखाएँ उस तल संघात के समांतर होंगी)। अधिकान्त मणिमों के साथ, किर्मा भी आपात कोण पर, प्रतिच्छाया-कोर^३ के समांतर अनेक काली रेखाओं की कोटियाँ प्रकट



आकृति २९—यह बताते हुए कि किजुची रेखाएँ कैसे प्रतिच्छेद^४ करती हैं।

होती है। ये विदलन तलों में परावर्तन द्वारा उत्पन्न होती हैं, और ये ही वे रेखाएँ हैं जिनका उपयोग शीनोहारा ने आंतरिक विभव मापने में किया था। इनके अतिरिक्त कुछ विकर्ण^५ रेखाएँ होती हैं जो बहुत जटिल प्ररूप पैदा करती हैं, विशेषकर मणिम की कुछ सममित मस्थितियों^६ में, जैसा मुखपृष्ठ के चित्र ३ में स्पष्ट होगा। उलसन न केवल रेखाओं के आधिक्य से उत्पन्न होती है, बल्कि इसलिए भी कि जहाँ ये रेखाएँ प्रतिच्छेद^४ करती हैं वहाँ इनमें परस्पर व्यतिकरण^७ होता है। जब दो रेखाएँ काटती हैं, तो आकृति २९ में बताये गये ढंग से काटती हैं और इसकी एक मभादित व्याख्या, वेधे सिद्धान्त के आधार पर, शीनोहारा^८ ने दी है। किजुची रेखाओं के पारस्परिक व्यतिकरण का दृष्टि में रखकर हम यह मानने को बाध्य होते हैं कि बहुज^९ प्रकीर्णनों में से अंतिम तो प्रत्यास्थी^{१०} है ही, चाहे प्रारम्भवाले अप्रत्यास्थी ही हों।

एक और ध्यान देने योग्य बात यह प्ररूप है जो मणिम के एक तल-संघात को आपात तल के समांतर, या लगभग समांतर मस्थित करने से प्राप्त होता है। ऐसी

1. Undelected 2. Set of planes 3. Shadow edge 4. Intersect
5. Diagonal 6. Symmetrical settings 7. Interference 8. Multiple 9. Elastic

दशा में हम आशा कर सकते हैं कि काली और ध्वेत रेखाओं का एक संपाती^१ युग्म मध्य रेखा के दोनों ओर उत्पन्न होगा, और इनके परस्पर मनुलन से एक समान पृष्ठभूमि अंकित होगी। वास्तव में होता यह है कि जहाँ इन रेखाओं को प्रकट होना चाहिए या उन स्थितियों के बीच के स्थान पर एक काली पट्टी आती है। ऐसी पट्टी के पार लिया गया दीप्तिमापीय^२ वक्र आकृति ३० के अनुसार रचना प्रकट करता है, और पट्टी की चौड़ाई उम स्थानान्तर के बराबर होती है जो सततगत तलों से ग्रैंग परावर्तन द्वारा उत्पन्न होता है। इन ऊर्ध्वापर पट्टियों की अनेक कोटियाँ^३ प्रायः एक दूसरे पर अध्यारोपित होती हैं, और इनकी चौड़ाइयाँ समांतर धेड़ी^४ से बढ़ती जाती हैं। काली और ध्वेत



आकृति ३०—एक पट्टी के पार तीव्रता वितरण दिखाते हुए।

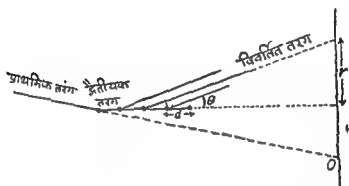
रेखाओं के विकर्ण युग्म^५, जो विदलन कलक और आपात तल में स्थित कटिबंध-अक्ष^६ से गुजरते तलों के कारण उत्पन्न होते हैं, देखने में उपर्युक्त पट्टियों से बहुत कुछ समान ही होते हैं; केवल केन्द्रीय धव्ये से दूरवाली दिशा की सीमा, पासवाली दिशा की सीमा की तुलना में, निश्चिततः अधिक काली होती है। (देखिए मुलपृष्ठ, आकृति ३)

इन पट्टियों के प्रकट होने की कोई संतोषप्रद व्याख्या अब तक प्रस्तुत नहीं की गयी है, यद्यपि वेये के सिद्धान्त पर आधारित एक संभाव्य व्याख्या शीनोहारा^७ ने दी है।

एक-दिश^८ प्ररूप—एक-दिश इलेक्ट्रान विवर्तन की संभावना पर सर्वप्रथम एमस्ली^९ ने ध्यान दिलाया। स्टिबनाइट मणिभ के (०१०) पृष्ठ की कुछ संस्थितियों में उसने एक विवर्तन प्ररूप प्राप्त किया जिसमें दो बारीक अर्धवृत्ताकार काली रेखाएँ थीं। जिस सुविशेष संस्थिति में यह प्रभाव उत्पन्न होता है, उसमें मणिभ पृष्ठ के एंटीमनी परमाणुओं की एक बड़े अंतरणवाली पक्ति आपात तल में पड़ती है, और वृत्तों का केन्द्र वह बिन्दु होता है जहाँ यह पक्ति प्लेट को प्रतिच्छेदित^{१०} करती है।

1. Coincident 2. Photometric 3. Orders 4. Arithmetic progression
5. Diagonal pairs 6. Zone axis 7. One-dimensional 8. Intersect

इस प्रभाव की व्याख्या करने के लिए एमस्ली ने मान्यता की कि एक अप्रत्यास्थी^१ स्वर^२ के उपरान्त, इलेक्ट्रान का तरंग-गुट्ट^३ मुख्यतः आपात तलवाली ही परमाणु-पक्व में सीमित हो जाता है, जैसे वह एक प्रकार की विभव-नली^४ में पकड़ा गया हो। उस दशा में यह उस नली के विभव-परिवर्तनों से (दूसरे शब्दों में, उस पक्व के परमाणुओं से) ही प्रकीर्णित होती है।



आकृति ३१—यह दिखाते हुए कि एक-दिश^५ विवर्तन से एक वृत्त कैसे उत्पन्न हो सकता है। (आकृति में 'द्वितीयक तरंग' पडिए)

अब नियमित दूरी पर स्थित परमाणुओं की एकाकी पक्व द्वारा उस पक्व की दिशा में चलते इलेक्ट्रान तरंग-गुट्ट के विवर्तन के प्रतिबन्ध^६ पर विचार कीजिए। आकृति ३१ में प्राथमिक, द्वितीयक, तथा विवर्तित तरंगों की दिशाएँ दिखायी गयी हैं। मान लीजिए इलेक्ट्रान का तरंग-दैर्घ्य निर्वात में λ है, और विभव नली में λ' है। तो θ कोण पर विवर्तन महत्तम के लिए प्रतिबन्ध हो जाता है—

$$\frac{2\pi d}{\lambda'} - \frac{2\pi d \cos \theta}{\lambda} = 2\pi n,$$

जिसमें d पड़ोसी परमाणुओं के बीच का अंतरण है। अब $\lambda = \lambda' \sqrt{1 + \frac{V}{P}}$ जबकि V नली और स्वतंत्र आकाश के बीच विभवान्तर^७ है, और P आपाती इलेक्ट्रानों की वोल्टता है। अतः उपर्युक्त समीकरण हो जाता है—

1. Inelastic 2. Collision 3. Wave packet 4. Potential tube 5. One-dimensional 6. Condition 7. Potential difference

$$\frac{V}{P} = \frac{2n\lambda}{d} \left(\cos\alpha + \frac{n\lambda}{2d} \right) - \cos^2 \alpha.$$

इस समीकरण से V की गणना हो सकती है, क्योंकि α के मान वृत्तों की त्रिज्याएँ माप कर निर्धारित हो सकने हैं। यदि हम $\frac{V}{P}$ की उपेक्षा कर दें, क्योंकि वह अल्प है, तो

$$\cos^2 \alpha = \frac{2n\lambda}{d} \left(\cos\alpha + \frac{n\lambda}{2d} \right),$$

जिससे स्पष्ट होता है कि प्रथम कोटि के वृत्त की अपेक्षा द्वितीय कोटि के वृत्त की त्रिज्या लगभग $\sqrt{2}$ गुनी होगी।

एमस्ली ने वृत्तों की त्रिज्याओं के मापों से अपने सिद्धान्त की पुष्टि की, और बताया कि नली के भीतर का मध्यमान विभव 26 वोल्ट की कोटि का था। बाद में टिलमैन ने यशद ब्लैंड के (110) विदलन फलक से परावर्तन द्वारा प्राप्त ऐसे ही वृत्तों के अनेक माप किये। वह मणिभ की चार विद्य-भिन्न दिगश की संस्थितियों से ये वृत्त प्राप्त कर सका, यद्यपि अंतरण की अपेक्षाकृत अल्पता के कारण उसे प्रत्येक संस्थिति के लिए एक ही वृत्त प्राप्त हो सका। इन वृत्तों से जो अतिरिक्त विभव का मान प्राप्त हुआ, वह दिगश के साथ परिणमन दिखाता है। एक सरल मणिभ-रूप की मान्यता की गयी, और इसके आधार पर प्रयोगाधृत चार दिशाओं में यशद और गन्धक के परमाणुओं की पवितियों पर मध्यमान आंतरिक विभव के मान परिगणित किये गये। ये मान मापित मापों से बहुत साम्य रखते हैं, जिससे इस दृष्टिकोण को काफी बल मिलता है कि ये वृत्ताकार प्रहण एक-दिश विद्यतन के प्रभाव से उत्पन्न होते हैं। (देखिए मुखपृष्ठ, आकृति ३)

टिलमैन ने निर्देश दिया है कि एमस्ली की यह कुछ अस्वाभाविक मान्यता कि इलेक्ट्रान तरंग-गुच्छ एक विभव नली के भीतर सीमित हो जाता है, इस सिद्धान्त का आवश्यक अंग नहीं है। एक इलेक्ट्रान, किसी परमाणु को ऊर्जा हस्तान्तरित करने के बाद, एक गोलियु तरंग के रूप में फैलेगा, किन्तु तरंग की तीव्रता अपाती दंड की दिशा में ही महत्तम होगी। इस कारण से आपात तल में परमाणुओं की पवित की दिशा में चलनेवाली तरंग की तीव्रता काफी अधिक होगी। समुचित कोणों पर इस पवित के

क्रमिक^१ परमाणुओं से प्रकीर्णित तरंगिकाएँ प्रवलन करेंगी। गमातर पवितयों के क्रमिक परमाणुओं की तरंगिकाएँ परस्पर एक-दूसरे में नहीं होंगी, क्योंकि प्राथमिक इलेक्ट्रॉन के प्रकीर्णन बिन्दु से इन परमाणुओं की दूरियाँ गमातर श्रेणी^२ में नहीं होंगी। अतः विभिन्न पंक्तियों से प्रकीर्णित तरंगिकाओं का पारस्परिक व्यतिकरण^३ उपेक्षित किया जा सकता है।

घाद के एक सैन में फिच, स्वारन और विल्मेन^४ ने मुनाब दिया है कि ये वृत्त किजुची रेखाओं के अन्वालोप^५ हों सकते हैं। यह दिखाया जा सकता है कि किसी एक कटिबद्ध अक्ष^६ के सर्वनिष्ठ^७ तलों से उत्पन्न किजुची रेखाएँ परवलयीय अन्वालोप बनाती हैं, और इन परवलयों के अन्वालोप विभिन्न कोटियों के वृत्तों की एक श्रेणी बनाते हैं, जिनकी प्रज्याएँ कोटि मर्या μ के वर्गमूल $\sqrt{\mu}$ के अनुपात में होती हैं। इस प्रकार, प्रथम सन्निकटता से, यह सिद्धान्त भी वृत्ताकार बल्लों के प्रकटन की व्याख्या कर सकता है। किन्तु दिग्ग^८ के माथ आन्तरिक विभव का जो परिणमन बल्लों के माप से पाया गया है, उसकी व्याख्या इससे नहीं होती। इसके स्पष्टीकरण में शिनोहारा^९ ने मुनाब दिया है कि बल्लों के प्रेक्षित स्थानान्तर^{१०} अतः किजुची रेखाओं के पारस्परिक व्यतिकरण से उत्पन्न हो सकते हैं, आन्तरिक विभव के परिणमन के कारण नहीं। इस समय यह निश्चय करना कठिन है कि इन सिद्धान्तों में से कौन-सा इस प्रभाव की सत्य व्याख्या है।

एचित एकाकी मणिभ^{११}—एचित एकाकी मणिभों द्वारा मन्द इलेक्ट्रॉनों के विवर्तन का कुछ विवरण पहले दिया जा चुका है। इन प्रयोगों में अनेक अतिरिक्त और अप्रत्याशित कोटियों के प्राप्त होने से प्रेरित होकर जी पी टॉमसन^{१२} ने चाँदी और ताँबे के एचित मणिभों का द्रुत इलेक्ट्रॉनों से परीक्षण किया, यह देखने के लिए कि उनमें भी उपर्युक्त असामान्यताएँ^{१३} आती हैं या नहीं। मणिभों को मन्थकटत सही फलक के लिए एक पतली आरी से काट दिया गया, और फिर उन्हें घिसकर एचित कर दिया गया। पहले तो फलक के काँच के संघोचन की क्रिया फार्न्सवर्थ की एक प्रकाशीय विधि से की गयी घाद के प्रयोगों में एचित फलक से प्राप्त इलेक्ट्रॉन विवर्तन प्ररूप से ही ज्ञात किया गया कि फलक को किसी नियत तल-संघात^{१४} के समान्तर करने के लिए कोण में कितना परिवर्तन आवश्यक है।

1. Successive 2. Arithmetic progression 3. Interference 4. Envelopes
5. Zone-axis 6. Common 7. Azimuth 8. Displacements 9. Etched
Single Crystal 10. Anomalies 11. Set of planes

ऐसे मणिभ पृष्ठ पर सटते कोण पर आपाती द्रुत इलेक्ट्रानों के एक दंड के विवर्तन से फलित प्ररूप धब्बों का एक विस्तृत प्ररूप¹ होता है, बहुत कुछ वैसा, जैसा एक पतले मणिभ पटल के पार संचरण से प्राप्त होता है, सिवाय इसके कि इस प्ररूप का एक अंश मणिभ की छाया से कट जाता है। इन प्ररूपों में क्रॉस ग्रेटिंग प्ररूपों के समस्त लक्षण पाये गये हैं। सभी प्राप्त धब्बों की व्याख्या एक ही कटिवर्त² में निहित विभिन्न तलों से परावर्तन के आधार पर हो गयी, और कोई अतिरिक्त कोटियाँ नहीं आयी। टॉमसन की सम्मति है कि ये प्ररूप एचित पृष्ठ पर बारीक उठानों³ के बीच से इलेक्ट्रान दंड के गुजरने से बनते हैं, और यह सिद्धान्त अब सार्वतः मान्य है। किन्तु जर्मर⁴ का विचार है कि एचित करने के बाद मणिभ पृष्ठ संभवतः अनेक मणिभ गुटकों का बना होगा, जो पृष्ठ से विभिन्न कोणों पर सस्थित हों। उसका मत है कि क्रॉस-ग्रेटिंग प्रभाव इन मणिभिकाओं⁵ के पृष्ठों से दंड के परावर्तन द्वारा उत्पन्न हो सकता है। किन्तु यह विचार सत्य नहीं हो सकता, क्योंकि कुछ बार धब्बेदार प्ररूप और किकुची रेखाएँ साय-साय पायी गयी हैं, और ऐसी रेखाएँ सभी उत्पन्न हो सकती हैं जब मणिभ आदर्श के काफी निकट हो। साथ ही, यदि प्ररूप खुले फलकों⁶ पर परावर्तन से उत्पन्न होता है, तो एक आंतरिक विभव प्रभाव प्रकट होना चाहिए, जो एचित मणिभों में नहीं पाया गया है। कुछ मणिभ विदलन फलक, जो संभवतः जर्मर द्वारा बताये गये अर्थ में अनादर्श हैं, ऐसा क्रॉस-ग्रेटिंग प्रकार का प्ररूप देते हैं जिसमें आंतरिक विभव प्रभाव भी होता है। किन्तु इन प्ररूपों में धब्बे सामान्यतः बहुत ही अस्पष्ट होते हैं, क्योंकि मणिभ-गुटकों का आकार छोटा होने से विवर्तन प्रतिबन्धों में काफी डीलन⁷ होती है। (देखिए मुख-पृष्ठ, आकृति ४)

“व्युत्क्रम लैटिस”⁸—क्रॉस-ग्रेटिंग प्रकार के प्ररूप को समझने के लिए उसे उत्पन्न करनेवाले मणिभ की “व्युत्क्रम लैटिस” बहुत सहायक होती है।

मान लीजिए हम मणिभ के किसी लैटिस बिन्दु से सगत एक बिन्दु O लेते हैं। अब इस लैटिस बिन्दु से गुजरते सभी लैटिस तलों से अमिलम्ब रेखाएँ AOA', BoB', \dots खींचते हैं, और फिर प्रत्येक रेखा पर समदूरस्थ बिन्दुओं की एक श्रेणी अंकित करते हैं, जिनका अंतरण उस लैटिस तल-संचात⁹ के अंतरण का व्युत्क्रम है जिससे यह रेखा

1. Extended pattern 2. Zone 3. Projections 4. Crystallites
5. Exposed faces 6. Relaxation 7. Reciprocal lattice 8. Set of planes

अभिलम्ब है। इस प्रकार प्राप्ता बिन्दु-समूह एक आकाश-गैटिंग¹ बनाने हैं, और उसे उस मणिभ की "व्युत्क्रम गैटिंग" कहते हैं। यदि मूलबिन्दु 0 में गुजरती इस गैटिंग की कोई समतल वाट² ले, तो इस वाट पर स्थित व्युत्क्रम-गैटिंग के बिन्दु उस प्राग गैटिंग प्ररूप के ध्वजों की जमावट निरूपित करने हैं, जो अनन्त अन्य तरंग-दैर्घ्य के एक इलेक्ट्रान दंड को इस समतल वाट से अभिगम्य दिशा में इस मणिभ के पार भेजने में उत्पन्न होगा। व्यवहार में परिमित³ तरंग-दैर्घ्य का प्रभाव विज्ञेय नहीं होता, क्योंकि दंड की दिशा में मणिभ पतला होने से व्युत्क्रम गैटिंग बिन्दु फैले हुए हों जाते हैं।

बहुमणिभोय⁴ पृष्ठ से परावर्तन—जब एक इलेक्ट्रान दंड किसी बहुमणिभोय पृष्ठ पर आपाती होता है, तो जो विवर्तन प्ररूप अधिवर्तन बनता है, वह अविक्षेपित⁵ ध्वजे से सकेन्द्र वृत्ताकार बल्लियों⁶ का बना होता है। इन वृत्ता का आधे से कुछ अधिक भाग पृष्ठ की प्रतिच्छाया में ढक जाता है, और फलतः प्लेट पर प्रवृत्त नहीं होता। इस प्रकार का प्ररूप पृष्ठ पर के छोटे उठानों के पार इलेक्ट्रान दंड के वेधन⁷ में उत्पन्न होता चाहिए। प्रत्येक छोटा उठान एक प्रास-गैटिंग प्ररूप उत्पन्न करेगा, और यदि मणिभ यदृच्छा से⁸ वितरित हैं, तो फलित प्ररूप वह होगा जो समस्त गमय प्राग गैटिंग प्ररूपों की केन्द्रीय ध्वजे के प्रति पुमाने में उत्पन्न होगा। यथार्थ में, प्ररूप वही होगा जो परावर्तक पृष्ठ की ही रचना के एक पतले पटल के पार मचरण में उत्पन्न होगा, यद्यपि वृत्ता के कुछ भाग नमूने की प्रच्छाया द्वारा कटे हुए होंगे।

प्रेक्षित बल्लय प्ररूप⁹ की एकमात्र अन्य व्याख्या यह हो सकती है कि इलेक्ट्रान दंड पृष्ठ की मणिभिकाओं के फलकों से पारवर्तित होता है। यह सिद्धान्त प्रेक्षित बल्लियों की तीक्ष्णता¹⁰ का समाधान नहीं कर सकती। मणिभिकाओं के छोटे आकार और वेधन के अभाव के कारण विवर्तन बधनों¹¹ में काफी ढीलन होगा, और फलतः बल्लय फैले-फैले होंगे। साथ ही मणिभिकाओं के आंतरिक विभव से एक वर्तनाक प्रभाव होगा, जिससे बल्लियों का आकार छोटा हो जायगा। सामान्यतः ऐसा नहीं पाया जाता, यद्यपि कुछ सुविशिष्ट अवस्थाओं में बल्लियों का फैलना और साथ ही उनके आकार का घटना यह बताता है कि कभी-कभी यह दूसरी विधि त्रियाशील हो सकती है।

1. Space lattice
2. Section
3. Finite
4. Polycrystalline
5. Undelected
6. Rings
7. Penetration
8. Randomly
9. Ring pattern
10. Sharpness
11. Conditions

दैशितता¹—कई बार बलय अपनी सारी लम्बाई पर एकसमान तीव्रता के नहीं होते, प्रत्युत एक या अधिक तीव्र चापों² में बँटे होते हैं। बलयों का इस प्रकार चापों में बँटना नमूने के पृष्ठ के प्रति मणिभिकाओं की दैशितता से उत्पन्न होता है। सर्वाधिक बार प्रेक्षित दैशितता यह है जिसमें मणिभों की सन्स्थिति ऐसी होती है कि उनका एक फलक परावर्तन पृष्ठ से सन्निकटतः समांतर होता है।

हम विचार करेंगे कि एक सरल घनक मणिभों³ के केस में, इस प्रकार दैशितता से क्या होता है, जब उनका एक घन फलक⁴ नमूने के पृष्ठ के समांतर हो। प्रत्येक छोटी मणिभिका क्रास ग्रेटिंग का व्यवहार करेगी, इसलिए सटते कोण पर आपाती दंड के केस में, इस घन फलक के समांतर जो तल हैं वे आपात तल में समान अंतरणवाले धब्बों की एक श्रेणी उत्पन्न करेंगे, चाहे मणिभिका की दिगश⁵ सन्स्थिति आपाती दंड के प्रति कुछ भी हो। इस कारण से ये धब्बे प्रबल होते हैं। इसके विपरीत, (011) तलों से परावर्तन तभी हो सकता है जब घन की कोर⁶ दंड से सन्निकटतः समांतर सन्स्थित हो। उस अवस्था में इन तलों से जो समदूरस्थ धब्बे उत्पन्न होंगे वे प्रच्छाया कोर⁷ से 45° कोण पर झुकी रेखाओं पर स्थित होंगे। धब्बों की ये ही पंक्तियाँ (101) (110) (0-11) (01-1) (-10-1) (10-1) (-110) और (1-10) तलों से भी उत्पन्न होंगी। दूसरे तल-संघातों पर विचार करके हम सरल घनक के अतिरिक्त अन्य अधिक जटिल रचना के मणिभ के लिए भी निर्णय कर सकेंगे कि किसी विशेष प्रकार की दैशितता के लिए तत्संगत धब्बे कहाँ घटित होंगे। सामान्यतः दैशितता सम्पूर्ण नहीं होती है, इसलिए धब्बे चापों में बदल जाते हैं।

कुछ केसों में मणिभिकाएँ ऐसी दैशितता से सन्स्थित होती हैं कि न केवल एक तल-संघात पृष्ठ के समांतर होता है, प्रत्युत एक अक्ष भी पृष्ठ पर एक दिशा-विशेष में होता है। इस केस में नमूने की दंड के प्रति किसी एक दिशा में सन्स्थित करने से कुछ चाप प्रकट नहीं होते, और तब प्रस्पृष्ट एधित एकाकी मणिभ के प्ररूप से समानता ग्रहण करने लगता है।

बहुधा यह पाया गया है कि वे बलय, जो चाप-भागों में बँटने की प्रवृत्ति नहीं दिखाते, प्रच्छाया कोर के निकट पहुँचने पर तीव्र हो जाते हैं। इसका समाधान इन छोटे उठानों द्वारा बनी क्रास ग्रेटिंग की विभेदकता⁸ पर विचार करने से हो सकता

1. Orientation 2. Arcs 3. Cubic crystals 4. Cube face 5. Azimuth
6. Edge 7. Shadow edge 8. Resolving power

है। उठान का जो भाग दंड के पथ में आता है, उसकी ऊँचाई की अपेक्षा चौड़ाई संभवतः अधिक होती है। इसलिए इस ग्रेटिंग की विभेदकता प्रच्छाया कोर की दिशा में, उसके अभिलम्ब दिशा की अपेक्षा, अधिक होती है।

संदर्भ

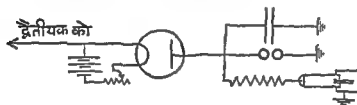
- क—F. Kirchner and H. Raether, *Phys. Zeit.*, 30, 510, 1932.
 ख—H. Bethe, *Ann. de Phys.*, 87, 557, 1928.
 ग—H. E. Farnsworth, *Phys. Rev.*, 40, 684, 1932; 43, 900, 1933.
 घ—K. Shinohara, *Sci. Pap. I. P. C. R., Tokio*, 18, 315, 1932.
 ङ—J. R. Tillman, *Phil. Mag.*, 18, 656, 1934.
 च—T. Yamaguti, *Proc. Math. Phys. Soc. Jap.*, 16, 95, 1934;
 17, 58, 1935.
 छ—W. E. Lasckarew, *Zeit Phys.*, 86, 697, 1933; 89, 820, 1934;
Trans. Faraday Soc., Sept. 1935.
 ज—J. W. Harding, *Phil. Mag.*, 23, P271, 1937.
 झ—K. Shinohara, *Sci. Pap. I. P. C. R., Tokio*, 20, 39, 1932.
 ञ—K. Shinohara, *Sci. Pap. I. P. C. R., Tokio*, 18, 223, 1932.
 ट—A. G. Emslie, *Phys. Rev.*, 45, 43, 1934.
 ठ—J. R. Tillman, *Phil. Mag.* 14, 485, 1935.
 ड—G. I. Finch, A. G. Quarell and H. Wilman, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.
 ढ—K. Shinohara, *Phys. Rev.*, 47, 732, 1935.
 ण—G. P. Thomson, *Proc. Roy. Soc.*, 133, 1, 1931.
 त—L. H. Germer, *Phys. Rev.*, 44, 1012, 1933.

अध्याय ५

उपकरण और टेकनीक

द्रुत इलेक्ट्रानों के विवर्तन में प्रयुक्त प्रारम्भिक प्रकार के उपकरणों में से अनेक का विवरण दिया हो चुका है। इन प्रयोगों की मूल आवश्यकताएँ हैं—एकसमान^१ और अचर^२ वेग के इलेक्ट्रानों के एक दड का उत्पादन, और एक निर्वातित प्रकोष्ठ^३ के भीतर नमूने की आवश्यकतानुसार चलाने तथा घुमाने के लिए व्यवस्था। आज कल प्रयुक्त उपकरणों के समस्त रूप सामान्य सिद्धान्त में उस विवर्तन कैमरे के समान हैं, जिसका प्रथम आयोजन टॉमसन और फेजर^४ ने किया था, किन्तु वाद के वर्षों में उसमें अनेक प्रकार से उन्नति की गयी है।

एक समांगी इलेक्ट्रान बंड का उत्पादन—जी. पी. टॉमसन द्वारा प्रयुक्त उच्च-विभव^५ धारा-देही परिपथ^६ का उल्लेख हो ही चुका है। यह व्यवस्था आकृति ३२ में



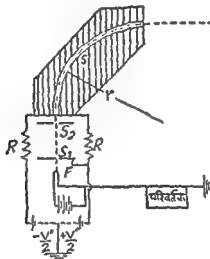
आकृति ३२—जी. पी. टॉमसन का उच्च विभव स्रोत^७।

दिखायी गयी है। एक परिभ्रामक पारद भजक^८ से काम करनेवाली प्रेरण कुंडली^९ के द्वितीयक^{१०} से प्राप्त धारा को एक ऋजुकारी^{११} वाल्व पर लगाया जाता है। ऋजुकृत धारा को एक गैस विसर्ग नलिका के पार भेजा जाता है, जिसके भीतर का दाब एक हार्नि^{१२} द्वारा नियंत्रित होता है। धारा को नली की श्रेणी^{१३} में 10^8 ओम की कोटि का

1. Uniform 2. Constant 3. Evacuated chamber 4. High potential
5. Current-supply circuit 6. H. T. Supply 7. Rotary mercury break
8. Induction coil 9. Secondary (noun) 10. Rectifying 11. Leak
12. Series

एक प्रतिरोध लगाकर समुचित मान तक सीमित किया जाता है, और नली के समान्तर लगभग 0.1 माइक्रोफेरेड धारिता का एक संधारित्र लगाकर माग्नेट किया जाता है। वोल्टता एक स्फुटित-सीप द्वारा मापी जाती है, जो नली के समान्तर लगता है। इस व्यवस्था से 40 किलोवोल्ट इलेक्ट्रानों का इतना समानो दृष्ट उत्पन्न किया जा सकता है कि उसे एक चुम्बकीय बल क्षेत्र द्वारा लगभग 10 डिग्री तक विक्षेपित कराने में कैथोड के कोई चिह्न प्रकट नहीं होते। उच्च विभव उपकरण के इस रूप में अनेक अनुविधान हैं। अन्य वोल्टताओं पर विमर्ग में प्रचलित धारा इतनी अधिक होती है कि संधारित्र उसे पर्याप्त माग्नेट नहीं कर पाते। लगभग 50 किलोवोल्ट से ऊपर विसर्ग के कट जाने की प्रवृत्ति होती है। निम्न वोल्टता के जिस पराग में अधिकतम कार्य किया जाता है, उसके लिए हमने एक मनोपजनक दृष्ट प्राप्त हो जाना है।

फिल्टर—एक विषमांगी इलेक्ट्रान दृष्ट से किनी निपट ऊर्जा के इलेक्ट्रानों को छीटने की दो विधियों का वर्णन हो चुका है। राइड ने विमर्ग नली को चलाने के



आकृति ३३—इलेक्ट्रानों का एक समानो दृष्ट उत्पन्न करने के लिए यामागुटी की व्यवस्था।

लिए एक प्रेरण-कुंडली का उपयोग किया, और इलेक्ट्रानों की प्रारम्भिक दिशा से

1. Capacity 2. Condenser 3. Smoothened 4. Spark gap 5. Deflect
6. Filters 7. Heterogeneous 8. Energy 9. Induction coil

अमिलम्बतः एक स्थिर-वैद्युत^१ विक्षेपक बल क्षेत्र^२ लगाकर एक समांगी दंड छाँट लिया। चिपचुकी ने भी इलेक्ट्रानों का दंड उत्पन्न तो उगी प्रकार किया, किन्तु उसके एक अंग को छाँटने का कार्य एकसमान चुम्बकीय बल क्षेत्र में दंड को संचारित कराकर किया। बाद में यामागुटी^३ ने एक व्यवस्था बनाम में ली जो कुछ प्रकार से उपर्युक्त दोनों विधियों का समन्वय है। उनका उपकरण आकृति ३३ में बताया गया है। तप्त तंतु F से उत्पन्न इलेक्ट्रान प्लेट S_1 तथा S_2 के बीच के विभव-पात द्वारा त्वरित^४ होते हैं। यह विभव एक उच्च-विभव परिवर्तक^५ द्वारा स्थापित होता है। S_2 में बने छिद्र में से गुजरने के बाद इलेक्ट्रानों को धातु के दो गुटकों के बीच बनी एक सकड़ी नाली में से जाना होता है। यह नाली २ मि. मी. चौड़ी होती है, और एकसमानता से १० से. मी. त्रिज्या के वृत्तखंड में मुड़ी होती है। एक धँटरी द्वारा इन गुटकों के बीच V' वोल्ट का विभवांतर लगाया जाता है। भान लीजिए कि वक्र पथ में प्रवेश करनेवाले इलेक्ट्रानों की ऊर्जा eV वोल्ट है। यदि वे पथ की वक्रता का अनुसरण करते हैं, तो उन पर त्रिज्यीय बल mv^2/r होगा, जिसमें m तथा v क्रमशः इलेक्ट्रान की सहति^६ तथा वेग हैं, और r पथ की वक्रता की त्रिज्या है। यह बल इलेक्ट्रान पर स्थिरवैद्युत बल क्षेत्र द्वारा लगनेवाले बल के बराबर होना चाहिए। यदि नाली की चौड़ाई s है, तो यह बल eV'/s है। अतः

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{eV'}{s}$$

किन्तु

$$eV = \frac{1}{2} mv^2$$

इसलिए

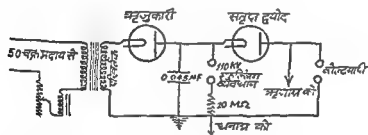
$$v = \frac{rV'}{2s} = 25V'$$

इस प्रकार की व्यवस्था से चुने हुए इलेक्ट्रानों का वेग सरलता से परिणमित^७ किया जा सकता है, और उनकी बोल्टता तुरंत ज्ञात हो सकती है, क्योंकि वह धातु के गुटकों के बीच लगे विभव की अनुपाती है।

संतृप्त द्वयीद^८ का उपयोग—एक अत्यन्त दक्ष^८ रूप के उच्च विभव स्रोत का उपयोग फिच^७ ने किया है। उसका परिपथ आकृति ३४ में दिखाया गया

1. Electrostatic 2. Deflecting field 3. Accelerated 4. Transformer
5. Mass 6. Vary 7. Saturated diode 8. Efficient

120 किलोवोल्ट क्षमतावाले एक 50-चक्र¹ उच्च विभव परिवर्तक के द्वितीयिक को एक सिरा धरित² कर दिया जाता है, और प्राप्त धारा को एक द्वयोद द्वारा नियंत्रित किया जाता है। न्यूनीकृत धारा समुचित धारिता के एक संधारित्र को चार्ज करती है। इस संधारित्र की रक्षा एक स्फुटिग-नॉप व्यवधान से होती है, जिसके कारण एक नियत वोल्टता से अधिक आवेश स्फुटिग के रूप में छटक जाता है। हार्नप 110 किलोवोल्ट के लिए समजित³ किया होता है। विमर्ग नली में जानेवाली धारा एक 120 कि० वी० द्वयोद के पार प्रवाहित होती है, जिसे मनुष्य की अवस्था से रखा जाता है। संधारित्र की धारिता इतनी पर्याप्त होती है कि निर्ज्वर अर्द्ध-चक्र काल में वह द्वितीय दाल्व को सन्तुष्ट रखने योग्य धारा देता रहे। इस प्रकार की व्यवस्था से विसर्ग में धारा पूर्णतः नियंत्रण में रहती है। वह मनुष्य द्वयोद के तत्पश्चात् धारा पर ही निर्भर होती है। अतः यदि विमर्ग का प्रतिरोध अचर रखा जाय, तो नली के पार विभव-पात भी अचर रहेगा। यह संस्थान⁴ इसी कोटि के अन्य संस्थानों की भाँति, विसर्ग नली के भीतर एक नियत अपरिवर्ती दाब स्थापित रखने पर आधारित होता है। ऐसा करने के लिए नली को लगातार निर्वाहित किया जाता है, और माध्यम ही मन्द क्षरण⁵ से वायु को भीतर आने दिया जाता है।



आकृति ३४—जी० आइ० फिच का उच्च विभव स्रोत ।

क्षारित्र के अनेक रूप प्रचलित हैं। एक सकडी केसिका द्वारा विसर्ग नली से सम्बन्ध एक निम्न-दाब प्रकोष्ठ से करने की विधि बहुत प्रचलित है, और उससे तोपप्रद दाब नियंत्रण प्राप्त हो जाता है। निम्न-दाब प्रकोष्ठ का दाब बदलने से चरण की गति नियन्त्रित हो सकती है। अन्यथा, केसिका के स्थान पर एक सुई-चालक लगा सकते हैं, जिसका सम्बन्ध या तो निम्न-दाब गैस प्रकोष्ठ से होता है, या कभी-

1. 50-cycle 2. Earthed 3. Adjust 4. Filament 5. System 6. Leakage
Leak 8. Capillary

कभी गोधे ही वायुमण्डल से। जब क्षारित्र का सम्बन्ध सीधा वायुमण्डल से होता है, तो बाल्य एक सुविशिष्ट बनावट का होना चाहिए, किन्तु जब निम्न-दाब प्रकृष्ट काम में लिया जाता है तो कोई भी प्रचलित रूप का मुर्द-बाल्य पर्याप्ततः मंद क्षरण देने के लिए संतोषप्रद होता है।

तप्त ऋणाग्र¹ नलिका—यदि गैस विमर्ग नलिका के बजाय एक तप्त ऋणाग्र नलिका काम में ली जाय, तो उसके तन्तु में धारा के नियंत्रण से नलिका की धारा का नियंत्रण हो सकता है, किन्तु समांगी इलेक्ट्रान दंड प्राप्त करने के लिए नलिका पर एक अचर वोल्टता स्थापित रखना होगा। जहाँ इस प्रकार का वोल्टता प्रदाय² उपलब्ध है, वहाँ विवर्तन प्रयोगों के लिए इलेक्ट्रान दंड प्राप्त करने के हेतु तप्त ऋणाग्र नलिका एक बहुत सुविधाप्रद साधन है।

चुम्बकीय संगमन³—इलेक्ट्रान विवर्तन केमरा के उन्नत रूपों के वर्णन से पहले किसी इलेक्ट्रान दंड के चुम्बकीय संगमन पर विचार करना आवश्यक है। β -किरणों पर ह्यूजेज के कार्य के सम्बन्ध में उल्लेख किया ही जा चुका है कि किसी बिन्दु से अपबिन्दु⁴ होते इलेक्ट्रान दंड को एक समुचित धारावाली कुंडली द्वारा संगमित किया जा सकता है। इलेक्ट्रान विवर्तन कार्य में इसके अनुप्रयोग का प्रथम सुझाव लेब्रेडेव⁵ ने दिया था।

1926 में दुश⁶ ने किसी इलेक्ट्रान के पथ पर एक छोटे और त्रिज्यीय सममिति¹ वाले चुम्बकीय बलक्षेत्र के प्रभाव की गणना की। इसके गणितीय रूप पर विचार करने से पहले इस पर भौतिकीय दृष्टि से देखें। यह सुविदित है कि एक चुम्बकीय क्षेत्र से लम्ब दिशा में चलता इलेक्ट्रान इन दोनों दिशाओं से लम्ब दिशा में एक बल का अनुभव करता है। यदि एक गतिशील इलेक्ट्रान ऐसे चुम्बकीय बलक्षेत्र में प्रवेश करे जिसमें इलेक्ट्रान के चलने की दिशा में सममिति का एक अक्ष है, तो चुम्बकीय बलक्षेत्र के त्रिज्यीय घटक² के कारण इलेक्ट्रान इन अक्ष के चारों ओर एक सर्पिल³ पथ पर चलेगा। साथ ही इलेक्ट्रान का प्रारंभिक पथ अक्ष से झुका होगा, तो इस गति के त्रिज्यीय घटक पर चुम्बकीय बलक्षेत्र के अक्षीय घटक के प्रभाव से इलेक्ट्रान का पथ अक्ष से निकटतर आता जायेगा।

1. Hot cathode 2. Source 3. Focussing 4. Diverge 5. Radial symmetry 6. Radial component

युश की गणना इन्ही विचारों पर आधारित थी। यहाँ हम उसकी मार्ग विधि का मार्टिन द्वारा दिया गया स्वरूप देगे, जो केवल पराक्षीय^१ किरणों के लिए ही लागू होता है। एक बल-क्षेत्र की कल्पना कीजिए जिसमें किसी एक बिन्दु पर बेलनाकार निर्देशांकों^२ r , ϕ और z के सलगगत घटक^३ H_r , H_ϕ और H_z हैं। यदि इस स्थान में चुम्बकीय पदार्थ नहीं है, तो लाप्लास के समीकरण में

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r H_r) + \frac{1}{r} \frac{\partial H_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial H_z}{\partial z} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

यदि बल-क्षेत्र z अक्ष के प्रति सममित है, तो $\frac{\partial H_\phi}{\partial \phi} = 0$, अतः

$$\frac{\partial}{\partial r} (r H_r) = -r \frac{\partial H_z}{\partial z}$$

r के प्रति अनुकलन^४ से हम देखते हैं कि त्रिज्या r पर त्रिज्यीय घटक होगा

$$H_r = -\frac{r}{2} \frac{\partial H_z}{\partial z}, \dots \dots \dots (2)$$

यदि r के छोटे परास पर $\frac{\partial H_z}{\partial z}$ को अचर मान लें।

अक्ष के पास के किसी बिन्दु के लिए

$$H_r = -\frac{r}{2} \cdot \left(\frac{\partial H_z}{\partial z} \right)_0 \dots \dots \dots$$

जिसमें $\left(\frac{\partial H_z}{\partial z} \right)_0$ अक्ष पर $\left(\frac{\partial H_z}{\partial z} \right)$ का मान है।

यदि ऐसे बल-क्षेत्रमें हम एक इलेक्ट्रान को एक पराक्षीय पथ पर वेग v से प्रवेश करता मानें, तो वह बल-क्षेत्रके त्रिज्यीय घटक H_r के कारण स्पर्शीय^५ बल $H_r e v_z$ का अनुभव करेगा। मान लीजिए कि जिस दिशा ϕ में यह बल लगता है, उसे हम घनात्मक मानते हैं, तो

$$m r \phi'' = H_r e v_z = -\frac{r}{2} \left(\frac{\partial H_z}{\partial z} \right)_0 \cdot e v_z,$$

$$\phi'' = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} \cdot \left(\frac{\partial H_z}{\partial z} \right)_0 \frac{dz}{dt}$$

1. Paraxial 2. Cylindrical co-ordinates 3. Components 4. Integration
5. Tangential

दमके अनुचलन में हमें प्राप्त होता है—

$$\dot{\phi} = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{\partial H_z}{\partial z} \right) \cdot \frac{dz}{dt} \cdot dt = -\frac{1}{2} \frac{e}{m} \cdot H_z, \dots\dots (3)$$

जिनमें बल-क्षेत्र दृग्य में बढ़ता माना गया है। इस प्रकार किसी भी बिन्दु z पर लॉन्गीय वेग केवल उन बिन्दु पर चुम्बकीय क्षेत्र के मान पर निर्भर होता है। इसके कारण जो अनुप्रस्थ वेग होगा उसका मान है

$$r\dot{\phi} = r\dot{\phi},$$

यह अनुप्रस्थ वेग बल-क्षेत्र के अक्षीय घटक से अभिलम्बित होता है, अतः एक त्रिज्यीय बल उत्पन्न होता है, जिसका मान $H_z ev\dot{\phi}$ है। अपकेन्द्रीय बल $mv^2\dot{\phi}/r$ को गिनते हुए, कुल त्रिज्यीय स्वरण होगा

$$\begin{aligned} \ddot{r} &= \frac{H_z e r \dot{\phi}}{m} + r \dot{\phi}^2, \\ &= \frac{H_z e r}{m} \left(-\frac{1}{2} \frac{e}{m} H_z \right) + \frac{r}{4} \left(\frac{e}{m} \right)^2 H_z^2 \\ &= -\frac{r}{4} H_z^2 \left(\frac{e}{m} \right)^2 \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

यदि हम मान लें कि बल-क्षेत्र को पार करने में r मूलतः अपरिवर्तित रहता है, तो अनुचलन से

$$\dot{r} - \dot{r}_0 = -\frac{r}{4} \left(\frac{e}{m} \right)^2 \int_{-\infty}^z H_z^2 \cdot \frac{dz}{dz} \cdot dz$$

या, सारे लैस के लिए,

$$\dot{r} - \dot{r}_0 = -\frac{r}{4} \left(\frac{e}{m} \right)^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{H_z^2}{V_z} \cdot dt \dots \dots (5)$$

यदि आपाती इलेक्ट्रान दंड अक्ष से कोण α घनाता है, और निर्गत दंड α' तो प्रकाशिकी में प्रयुक्त सामान्य चिह्न-प्रणाली को अपनाने हुए—

$$r_s = n \alpha,$$

$$r = r' \alpha'$$

$$\therefore r' \alpha' - r \alpha = \frac{r}{4} \left(\frac{e}{m} \right)^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{H_z^2}{v_s} dz$$

सन्निकटीकरण की आवश्यक कोटि तक $v = v_s = v'$ अतः

$$\alpha' - \alpha = \frac{r}{8} \frac{e}{m} \cdot \frac{1}{V} \int_{-\infty}^{+\infty} H_z^2 dz, \quad \dots \quad (6)$$

जिसमें V आपाती इलेक्ट्रान की बौण्डता है।

उपयुक्त कोणीय विचलन देनेवाले चुम्बकीय लेंस का फोकस-अंतर, प्रकाशीय सम्यन्ध के समान ही, इस समीकरण से प्राप्त होगा—

$$\frac{1}{f'} = \frac{\alpha' - \alpha}{r} = \frac{1}{8} \frac{e}{m} \frac{1}{V} \int_{-\infty}^{\infty} H_z^2 dz \quad \dots \quad (7)$$

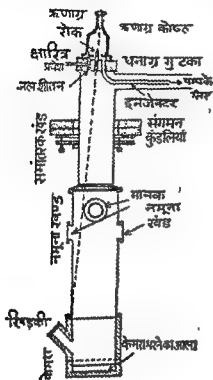
इस लेंस से उत्पन्न प्रतिबिम्ब वस्तु की तुलना में घूमा हुआ होगा। यह बिम्ब कितना कोण ϕ घूमा हुआ होगा, यह तुरत प्राप्त हो सकता है, क्योंकि समीकरण (3) से

$$\dot{\phi} = \frac{1}{2} \left(\frac{e}{m} \right) H_z$$

$$\therefore \phi = \frac{1}{2} \frac{e}{m} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{H_z}{v_s} \cdot dz$$

इलेक्ट्रान विवर्तन की दृष्टि से बिम्ब का घूमा हुआ होना कोई महत्त्व नहीं रखता, क्योंकि चुम्बकीय लेंस का उपयोग एक छोटे वृत्ताकार द्वारक से प्राप्त एक सकड़े इलेक्ट्रान दंड को संगमित करने में ही होता है।

फिच रूप का केमरा—इलेक्ट्रान विवर्तन केमरे का एक रूप जिसमें बहुत यथार्थता के फल देने की क्षमता है, फिच ने आविष्कृत किया और व्यापक उपयोग



आकृति ३५—फिच रूप का केमरा।

में लिया है। इसके साथ प्रयुक्त उच्च-विभव स्रोत का विवरण दिया जा चुका है। केमरा का सार्वजनिक रूप आकृति ३५ में दिखाया गया है। इसके चार खण्ड हैं—विसर्गनली, समांतरक खण्ड, नमूना खण्ड और केमरा खण्ड। विसर्ग नली एक दीर्घी है, जिसका पेंदा काट दिया गया है, और फिर गंदन तथा पेंदे के द्वारकों की चपटा और नली के अक्ष से लम्बतः घुमित कर लिया गया है। इस नली को एक पीतल के गुटके में बनी खाँच में बिठा कर पाइसीन भीम से मुद्रित कर दिया जाता है। गुटके का निचला पृष्ठ चपटा पिस्ता होता है, ताकि धनाग्र गुटके के ऊपरी चपटे पृष्ठ पर रखने और बीच में समुचित धीज लगाने से एक निर्वात-संमुद्रित जोड़ बन जाता है। श्रृणाग्र एक मोटी पालिश की हुई अल्मीनियम की छड़ होती है जो ऊपरी सिरे

पर पीतल के गुटके में पेच द्वारा कस दी जाती है। नलिका को नल उपकरण के केमरा की ओर लगे पम्प-मार्ग के भीतर, जिसके कारण पम्प से पारद वायु केमरा में विसर्जित नहीं हो सके, का नियंत्रण एक धारीक के द्वारा एक अंशतः निर्वात

विसर्ग नलिका से श्रृणाग्र तकड़ी पीतल की नली के पार

सम्बन्धित है
दंड
का

. Pic

1. Apertures 2. Grind
3. Vacuum-light 4. D

जिसमें ०.१ मि० मी० व्यास का एक छेद किया होता है। धनाग्र गुटके का ऊपरी सिरा थोड़ा झुका रखने से विसर्ग नली का अक्ष उपकरण के नीचे लगे स्फुग्दीप्त^१ पर्दे से परे एक कोने पर पड़ता है। थोड़ा अपगृत^२ यह इलेक्ट्रान दंड चुम्बकीय लैंग द्वारा मगमित किया जाता है, और कुंडलियों को थोड़ा-सा झुकाकर विक्षेपित^३ भी किया जाता है, ताकि पीतल की नली के छिद्र का प्रतिबिम्ब पर्दे पर समुचित स्थान पर बने। मगमन क्रिया के सम्यन्ध में यह उल्लेख कर देना उचित है कि, प्रकाश किरणों की भाँति ही, आवर्धन^४ यहाँ भी V/U होता है, जिसमें U तथा V वस्तु तथा बिम्ब दूरियाँ हैं। जिस विशेष केमरे का विवरण दिया जा रहा है उसमें पर्दे पर बने बिम्ब का व्यास ०.२ मि० मी० होता है।

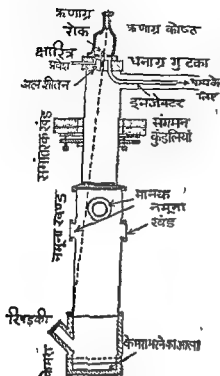
चुम्बकीय लैंग की विभेदपूर्ण^५ क्रिया और विक्षेप के कारण, मन्दतर इलेक्ट्रान प्रतिबिम्ब से लगी एक पूँछ बनाने हैं। इसे नमूने के ठीक ऊपर एक समुचित रोक लगाकर काटा जा सकता है। विसर्ग नली से प्राप्त अन्य किरणें, अर्थात् प्रकाश किरणें तथा ऋणायन, पर्दे पर नहीं टकराते, क्योंकि प्रकाश किरणें तो कुंडलियों से विक्षेपित नहीं होती, और ऋणायन बहुत कम विक्षेपित हो पाने हैं। इस प्रकार ये किरणें आलेख में नहीं आती।

नमूना-वाहक^६ आकृति ३६ में पूर्णतः दिखाया गया है। यह नमूना-प्रकोष्ठ के चार द्वारों में से किसी में भी काम में लिया जा सकता है। सारे नमूना-प्रकोष्ठ को उलटने से केमरा की प्रभावकारी लम्बाई आधी की जा सकती है। फिच के केमरे में यह लगभग २५ से० मी० हो जाती है। नमूना-वाहक में नमूने को चार स्वतंत्र गतियाँ उपलब्ध होती हैं। आकृति ३६ की बाईं ओर दिखाये गये दो नियंत्रक सिरों से नमूने को इलेक्ट्रान दंड के बाहर-भीतर पिसकाया तथा अपने ही तल में घुमाया जा सकता है। दंड के अक्ष में इधर-उधर घुमाने तथा दंड के प्रति कोण बदलने का काम नियोजक^७ पेंचों द्वारा नम्य^८ धोकनियों के समुचित सकोचन से होता है।

तुलनाकारी शटर^९—केमरा के आलेखी^{१०} खण्ड में एक खोखला धनाकार काँसे का वर्तन होता है जो नमूना-प्रकोष्ठ के निचले सिरे से एक घपित जोड़ द्वारा फिट किया होता है। इस वर्तन की एक दीवार पर पेंदे के पास एक घपित पृष्ठवाला आयताकार

- | | | | |
|---------------------------|---------------------|---------------|------------------|
| 1. Fluorescents | 2. Divergent | 3. Deflect | 4. Magnification |
| 5. Biasing | 6. Specimen carrier | 7. Adjusting | 8. Flexible |
| 9. The comparison shutter | | 10. Recording | |

फिच रूप का केमरा—इलेक्ट्रान विवर्तन केमरे का एक रूप जिसमें बहुत यथार्थता के फल देने की क्षमता है, फिच ने आविष्कृत किया और व्यापक उपयोग में लिया है। इसके साथ प्रयुक्त उच्च-



विम्व स्रोत का विवरण दिया जा चुका है। केमरा का सार्वत्रिक रूप आकृति ३५ में दिखाया गया है। इसके चार खण्ड हैं—

विसर्जनली, समांतरक खण्ड, नमूना खण्ड और केमरा खण्ड। विसर्जनली एक शीशी है, जिसका पेंदा काट दिया गया है, और फिर गर्दन तथा पेंदे के द्वारको को चपटा और नली के अक्ष से लम्बतः घर्षित कर लिया गया है। इस नली को एक पीतल के गुटके में बनी खाँच में बिठा कर पाइसीन मोम से मुद्रित कर दिया जाता है। गुटके का निचला पृष्ठ चपटा घिसा होता है, ताकि धनाग्र गुटके के ऊपरी चपटे पृष्ठ पर रखने और बीच में समुचित ग्रीज लगाने से एक निर्वात-संमुद्रित जोड़ बन जाता है। ऋणाग्र एक मोटी पालिश की हुई अल्मीनियम की छड़ होती है जो ऊपरी सिरे

आकृति ३५—फिच रूप का केमरा।

पर पीतल के गुटके में पेच द्वारा कस दी जाती है। नलिका को निर्वातित करनेवाला नल उपकरण के केमरा की ओर लगे पम्प-मार्ग के भीतर काफी दूर तक जाता है जिसके कारण पम्प से पारद वाष्प केमरा में विसरित नहीं हो पाती। ऋणाग्र कोष्ठ में दाब का नियंत्रण एक भारीक कैशिका से गैस के क्षरण द्वारा होता है। यह कैशिका एक अंशतः निर्वातित गैस प्रकोष्ठ से सम्बन्धित होती है।

विसर्जन नलिका से ऋणाग्र किरणों का एक पतला दंड धनाग्र गुटके में लगी एक सफेदी पीतल की नली के पार गुजरता है। इस नली का ऊपरी छिरा ठोम होता है,

1. Apertures 2. Grind 3. Block 4. Grove 5. Pieten 6. Seal 7. Anode
8. Vacuum-tight 9. Diffuse 10. Capillary 11. Leakage

जिसमें 0.1 मि० मी० व्यास का एक छेद किया होना है। घनाग्र गुटके का ऊपरी सिरा थोड़ा झुका रखने से विमर्ग नली का अक्ष उपकरण के नीचे लगे स्फुग्दीप्त पदों से परे एक कोने पर पड़ता है। थोड़ा अपमूर्त यह इलेक्ट्रान दंड चुम्बकीय लैम द्वारा मगमित किया जाता है, और कुंडलियों का थोड़ा-सा झुकाकर विश्लेषित भाँ किया जाता है, ताकि पीतल की नली के छिद्र का प्रतिबिम्ब पदों पर समुचित स्थान पर घने। मगमित क्रिया के सम्बन्ध में यह उल्लेख कर देना उचित है कि, प्रकाश किरणों की भाँति ही, आवर्धन यहाँ भी V/U होता है, जिसमें U नया V वस्तु तथा बिम्ब दूरियाँ हैं। जिस विशेष केमरे का चित्रण दिया जा रहा है उसमें पदों पर घने बिम्ब का व्यास 0.2 मि० मी० होता है।

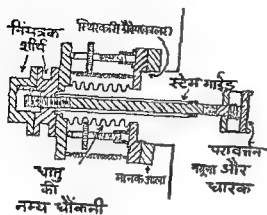
चुम्बकीय लैम की विभेदपूर्ण क्रिया और विश्लेष के कारण, मन्दतर इलेक्ट्रान प्रतिबिम्ब में लगी एक पूँछ घनाते हैं। इसे नमूने के ठीक ऊपर एक समुचित रोक लगाकर काटा जा सकता है। विमर्ग नली में प्राप्त अन्य किरणें, अर्थात् प्रकाश किरणें तथा ऋणायन, पदों पर नहीं टकराते, क्योंकि प्रकाश किरणें तो कुंडलियों में विश्लेषित नहीं होती, और ऋणायन बहुत कम विश्लेषित हो पाते हैं। इस प्रकार ये किरणें आलेख में नहीं आती।

नमूना-वाहक आकृति ३६ में पूर्णतः दिखाया गया है। यह नमूना-प्रकोष्ठ के चार द्वारों में से किसी में भी काम में लिया जा सकता है। सारे नमूना-प्रकोष्ठ को उलटने से केमरा की प्रभावकारी लम्बाई आधी की जा सकती है। फिच के केमरे में यह लगभग 25 से० मी० हो जाती है। नमूना-वाहक में नमूने को चार स्वतंत्र गतियाँ उपलब्ध होती हैं। आकृति ३६ की बाईं ओर दिखाये गये दस नियंत्रक मिरों से नमूने को इलेक्ट्रान दंड के बाहर-भीतर खिसकाया तथा अपने ही तल में घुमाया जा सकता है। दंड के अक्ष से इधर-उधर घुमाने तथा दंड के प्रति कोण बदलने का काम नियोजक पेंचों द्वारा नम्य धीकनियों के समुचित गकोचन से होता है।

तुलनाकारी शटर—केमरा के आलेखी खण्ड में एक खोखला घनाकार काँसे का वर्तन होता है जो नमूना-प्रकोष्ठ के निचले सिरे से एक घणित जोड़ द्वारा फिट किया होता है। इस वर्तन की एक दीवार पर पेंदे के पास एक घणित पृष्ठवाला आयताकार

- | | | | |
|---------------------------|---------------------|---------------|------------------|
| 1. Fluorescents | 2. Divergent | 3. Deflect | 4. Magnification |
| 5. Biasing | 6. Specimen carrier | 7. Adjusting | 8. Flexible |
| 9. The comparison shutter | | 10. Recording | |

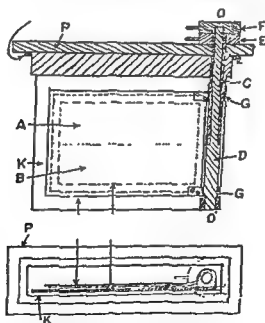
आला होता है, जिसे एक विगैसित^१ रबड़ बलय^२ लगी एक पीतल की पट्टिका लगाकर



आकृति ३६—नमूना-वाहक।

पर घूम सकती है। शटर दो भाग A तथा B में विभक्त है, जिनमें से किसी एक

निर्वात संमुद्रित बन्द किया जा सकता है। इस पीतल पट्टिका के भीतर की ओर प्लेट-धारक और एक विशेष प्रकार की शटर-योजना लगायी जाती है, जिसे आकृति ३७ में विस्तार से दिखाया गया है। फोटोग्राफी प्लेट पीतल की फ्रेम K में बने एक उयले साँचे^३ में लगायी जाती है, और उसके ठीक ऊपर ही शटर है, जो एक अक्ष ००'



आकृति ३७—तुलनाकारी शटर, क्षैतिज और ऊर्ध्व काट में।

1. Degassed 2. Ring 3. Shallow recess

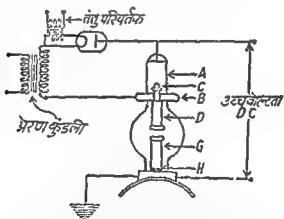
को या दोनों को नियंत्रक सिरों F तथा E द्वारा उठाया जा सकता है। शटर के दोनों अर्ध भागों को एक स्फुरदीप्त पर्दा ढँके रहता है। यह पर्दा ००' से ढीला चूल्हा होता है, ताकि A या B में से किसी एक के साथ यह उठ जाता है।

इस तुलनाकारी शटर से एक प्लेट पर दो चित्र लिये जा सकते हैं, एक परीक्षणीय नमूने से और एक ज्ञात रचना के मानक नमूने से। इन दोनों नमूनों को एक ही नमूना-पाहक पर लगाया जा सकता और वारी-वारी से दृढ़ के पथ में लाया जा सकता है। इस प्रकार प्रयुक्त इलेक्ट्रानो का तरंग-दैर्घ्य 25 प्रतिशत की यथार्थता से निर्धारित हो सकता है।

जिस कार्य में कम यथार्थता के माप अपेक्षित हो, उसमें इस उपकरण का एक छोटा तथा कुछ परिवर्तित रूप काम में आता है। अन्तरमूलत इसमें है कि तुलनाकारी शटर नहीं होता, और वोल्टता स्फुलिंग-दूरी में मापी जाती है।

दोहरा त्वरण वाला उपकरण—१९३५ में जी० पी० टॉमसन ने एक उपकरण आविष्कृत किया जो विवर्तन प्रयोगों में सामान्यतः काम आनेवाली वोल्टताओं से कुछ अधिक वोल्टताओं के लिए काम आता है। साधारण गैस विसर्ग ८० किलोवोल्ट से अधिक वोल्टता पर कट जाता है। इस कठिनाई को दूर करने के लिए उसने इलेक्ट्रानों को दोहरा त्वरण दिया।

उपकरण का कैमरा खण्ड वही टॉमसन-फ्रेजर रूप का है, जिसका पहले विवरण



आकृति ३८—दोहरा त्वरणवाला उपकरण।

(आकृति में उच्चवोल्टता के स्थान में उच्चवोल्टीय पट्टिए)

1. Pivoted 2. Standard 3. Spark gap 4. Double acceleration
5. Discharge

दिया जा चुका है, किन्तु विसर्ग नली के स्थान पर आकृति ३८ में प्रदर्शित व्यवस्था लगायी जाती है। ऊपरी नलिका A में एक विसर्ग चलाया जाता है, और दाव एक सामान्य रूप के धारित्र^१ से ऐसा नियन्त्रित रखा जाता है कि नलिका के पार 1000 वोल्ट की कोटि का विभवान्तर रहे। इस विसर्ग के लिए धारा एक प्रेरण-कुंडली^२ में ली जाती है, और एक वाल्व द्वारा ऋजु^३ की जाती है। कैथोड विरणों का एक धारीक पुंज दमकाकार घनाग्र^४ के बीच बने छोटे छिद्र C से निकलता है, और फिर एक ताँबे की नली D से गुजरता है। घनाग्र एक वायु-शीतलित ताम्र-पिंड B पर लगा होता है। ताम्र नलियों D और G के बीच एक उच्च विभवान्तर समुचित उच्च विभव प्रदाय^५ द्वारा स्थापित किया जाता है। क्योंकि समकारी^६ धारित्रों^७ से ली जानेवाली धारा छिद्र C में से गुजरते सकड़े इलेक्ट्रान दंड में निहित धारा तक ही सीमित है, इसलिए बहुत ही अचर वोल्टता स्थापित रखी जा सकती है। नमूनेवाले प्रकोष्ठ में अंततः प्रवेश करनेवाला इलेक्ट्रान दंड ०.२ मि० मी० व्यास के एक दूसरे छिद्र H से परिसीमित होता है। गुटका B उच्च विभव पर है, इसलिए विसर्ग नली की निर्वातित करनेवाले पम्प को पृथक्कृत^८ करना आवश्यक है। इसके लिए पम्प को पृथक्कारी स्तम्भों पर लगाया जाता है, और पम्प तथा उसे चलानेवाली मोटर के बीच एक लम्बा घमड़े का पट्टा काम में लिया जाता है।

सामान्य विचार—यहाँ यह न संभव है, न उचित ही, कि इस समय काम लिये जानेवाले सभी विभिन्न केमरो का वर्णन दिया जाय। जिनका वर्णन दिया गया है वे प्रतिनिधि रूप हैं, और सब सामान्य योजनाओं का उनमें समावेश हो गया है। फिर भी फलों की यथार्थता पर तथा कार्य की शीघ्रता में किन-किन बातों का प्रभाव पड़ता है, इस विषय में कुछ सामान्य चर्चा लाभप्रद होगी।

इलेक्ट्रान विवर्तन द्वारा लैटिस अंतरणों^९ के मापन में दोष के प्रमुख कारण ये हैं—

(क) वोल्टता के मापन में अनिश्चितता।

(ख) केमरा की प्रभावकारी लम्बाई (अर्थात् नमूने से प्लेट तक की दूरी) में अनिश्चितता।

(ग) प्ररूप^{१०} के धब्बों तथा वलयों^{११} में तीक्ष्णता का अभाव।

1. Leak 2. Induction coil 3. Rectify 4. Conical anode 5. H. T. Supply 6. Smoothing 7. Condensers 8. Insulate 9. Lattice spacings 10. Pattern 11. Rings

इनमें से पहली कठिनाई का निवारण इलेक्ट्रानों को छानने¹ की कोई युक्ति (जिनमें से कुछ का वर्णन दिया जा चुका है) काम में लेने से या तुलनाकारी शटर से हो सकता है।

प्लेट या पर्दे से नमूना-वाहक³ के किसी नियत बिन्दु की दूरी किसी ज्ञात रचना के पटल⁴ के संचरण प्ररूप⁵ की एक शृंखला लेकर बहुत यथार्थता में निर्धारित की जा सकती है। इलेक्ट्रानों की वोल्टता ज्ञात होने पर पटल से प्लेट तक की दूरी की गणना एकदम सीधा काम है। कोई परावर्तन नमूना ले तो एक कठिनाई आती है। इन नमूनों में सामान्यतः दंड की दिशा में लगभग १ से ० मी० लम्बाई होती है, और दंड हम पृष्ठ के किसी भी भाग पर आपाती हो सकता है। छोटे नमूने काम में लेने से इस कठिनाई से उत्पन्न दोष कम किये जा सकते हैं, किन्तु ऐसा मईव सुविधाप्रद नहीं होता। दूसरा उपाय यह है कि एक विधि, जो सर्वप्रथम एक्स-किरणों के लिए प्रयुक्त हुई थी, काम में ली जाय। मणिभ के पृष्ठ पर, दंड से अभिलम्बित, एक अस्तिकोर⁶ समजित⁷ किया जाय, और समुचित व्यवस्था से इस अस्तिकोर और नमूने के बीच की दूरी ०.०२ मि० मी० के लगभग तक घटा दी जाय। अल्प सटते कोण, जो काम में लिये जाते हैं, उनके लिए इस व्यवस्था से नमूने की प्रभावकारी लम्बाई लगभग २ मि० मी० हो जाती है।

यथार्थता के अभाव का तीसरा कारण, विभेदकता⁸ की न्यूनता, स्वयं नमूने के ही कारण हो सकती है। किन्तु दंड में समागिता⁹ के अभाव या तीक्ष्णता के अभाव से भी यह दोष हो सकता है। दंड को समागी बनाने के उपाय का वर्णन पहले किया जा चुका है। तीक्ष्ण प्ररूप उत्पन्न करने के लिए प्रमुख दंड द्वारा उत्पन्न धब्बा छांटा तथा सुपरिसीमित¹⁰ होना चाहिए। ऐसे दंड उत्पन्न करने के लिए धनाग्र छिद्र-द्वय छोटे और बहुत दूरस्थ होने चाहिए। अधिक सतोपजनक उपाय संभवतः यह है कि एक ही छोटे धनाग्र छिद्र के साथ एक सगमकारी कुंडली¹¹ काम में ली जाय। धनाग्र छिद्र से कुंडली की दूरी तथा कुंडली में प्लेट की दूरी को समुचित रूप से समजित करके आवर्धन¹¹ बहुत कम किया जा सकता है। इस सम्यग्ध में यह कहना आवश्यक है कि नमूना सदा कुंडली के बाद तथा उसके चुम्बकीय बल-क्षेत्र से बाहर रखा जाना चाहिए, अन्यथा प्ररूप में विकृति आ जायगी या उसका पूर्णतः लोप हो जायगा।

1. Filtering 2. Specimen carrier 3. Film 4. Transmission patterns
5. Knife-edge 6. Adjust 7. Resolving power 8. Homogeneity 9. Well defined 10. Focussing coil 11. Magnification

कार्य की तीव्रता—इष्टों की सामान्य तीव्रता में, अनेकानेक भिन्न प्रकार के नमूनों में से किसी का विपतन निम्न प्राप्त करने के लिए प्रकाशकरण का काल^१ एक सेकण्ड के अन्त्य में लगाकर दो या तीन सेकण्ड तक होता है। किन्तु प्रकाशकरण से पहले कैमरे को निर्वातित^२ करना आवश्यक होता है और इस क्रिया में कहीं अधिक समय लगता है (उपकरण के रूप के अनुसार १० मिनट से ४० मिनट तक)। अतः तीव्रता से फोटोग्राफ लेना मूलतः निश्चित टेक्नीक पर निर्भर होता है। स्पष्ट, उच्च वेग पन्नों के उपयोग से काम होगा, किन्तु दूसरा उपाय ऐसी युक्तियों में काम लेने का है जिनमें एक बार उपकरण को निर्वातित करने पर अनेक प्लेटें ली जा सकें। जहाँ ऐसा करना होता है, सामान्यतः उपकरण के भीतर ही एक बेलन^३ पर अनेक प्लेटें चढ़ा दी जाती हैं, और घड़ी-घड़ी से ठीक स्थिति पर लायी जाती हैं। इन युक्ति के पूर्ण काम के लिए आवश्यक है कि नमूना-वाहक भी ऐसा हो कि उसमें अनेक नमूने लग सकें, और घड़ी-घड़ी से दृढ़ के पथ में लाये जा सकें।

मंद इलेक्ट्रानों से काम के लिए उपकरण—टेक्निकल कठिनाइयों के कारण तथा मंद इलेक्ट्रानों से संबंधित सिद्धान्त की असंतोषजनक अवस्था के कारण, उनका उपयोग व्यावहारिक अनुगमन के साधन के रूप में बहुत कम हुआ है। सामान्यतः प्रयुक्त उपकरण सिद्धान्ततः वही होता है जिसे डेबिसन और जर्मर ने काम में लिया था। दंड एक तप्त तंतु से प्राप्त इलेक्ट्रान धारा के त्वरण^४ से उत्पन्न किया जाता है, और विवर्तन प्रक्षेपक अभ्ययन एक धारामापी या विद्युत्मापी^५ से सम्बद्ध फेराडे-बैलन संप्राही^६ से होता है। इलेक्ट्रानों की मंद गति के कारण, तथा नमूने को दूषित होने से सर्वथा रक्षित करने की आवश्यकता के कारण, यह आवश्यक है कि सर्वोच्च संभव निर्वात अवस्थाएँ रखी जायें। इसके लिए सारे उपकरण को एक संमुद्रित^७ वर्तन में बंद रखना होता है, और सब समजन् बाहर से करने होते हैं, चाहे चुम्बकीय विधि से, या सारे वर्तन को झुकाकर। स्पष्ट है कि यदि सिद्धान्त सरल भी होता, तो भी कार्यान्वित करने में यह विधि काफी कठिन है।

उपकरण का एक रूप एहरेनबर्ग^८ ने आयोजित किया है जिससे मंद इलेक्ट्रानों से प्रेक्षन^९ सबयी कठिनाइयों काफी कम हो जाती हैं। इसमें वैद्युत परिचायन^{१०} विधि के वजाम स्फुरदीप्त^{११} पर्दे पर प्रक्षेप को देखने की व्यवस्था है। इलेक्ट्रान दंड सामान्य

1. Exposure time 2. Evacuate 3. Cylinder 4. Acceleration
5. Electrometer 6. Faraday-Cylinder Collector 7. Sealed 8. Adjustments
9. Observation 10. Detection 11. Fluorescent

रूप की वस्तुओं द्वारा उत्पन्न किया जाता है, और नमूने पर एक परिवर्तों कांण से टकराता है। धातु के दो बेलनाकार तनुपट^१ समअक्षीय लगे होते हैं, जिनका अक्ष मणिम के पृष्ठ पर आपाती इलेक्ट्रॉन दड से अभिलम्ब होता है। इन बेलनों में आपाग तल में दो दीर्घछिद्र^३ कटे होते हैं। बेलनों के बाहर, उनसे समअक्षीय ही, स्फुरदीप्त पर्दा होता है, जो एक जाली पर लगे किसी लचीले^४ पदार्थ का बना होता है। पहले दो बेलनों के दीर्घछिद्रों पर जाली लगी होती है, और उनके बीच, लगभग प्रारम्भिक बाण्डता के बराबर ही, एक अवमदक विभव^५ लगाया जाता है। अवमदक विभव उन इलेक्ट्रॉनों को रोक लेता है जो अप्रत्यास्थी^६ टक्करों से कुछ ऊर्जा^७ खा चुके हों। बाहरी तनुपट और पर्दे के बीच एक उच्च त्वारक^८ विभव लगाया जाता है, ताकि इलेक्ट्रॉन स्फुरदीप्त उत्पन्न करने योग्य वेग प्राप्त कर लें। आपाती तल में विवर्तित दड विकृत नहीं होते, क्योंकि सभी बल-क्षेत्र मिज्यीय^९ हैं। इस तल के दडों का ही प्रेक्षण किया जाता है। इस प्रकार के उपकरण से मद इलेक्ट्रॉनों के विवर्तन सम्बन्धी हमारे ज्ञान में सवेग वृद्धि होगी।

संदर्भ

- क—G. P. Thomson and C. G. Fraser, *Proc. Roy. Soc.*, 128, 641, 1930.
 ग—T. Yamaguti, *Proc. Phys. Math. Soc. Jap.*, 16, 95, 1934.
 ग—G. I. Finch and A. G. Quarrell, *Proc., Roy. Soc.*, 141, 398, 1933.
 घ—A. A. Lebedeff, *Nature*, Sept. 1931.
 उ—Busch, *Ann. de Phys.*, 81, 974, 1926.
 च—L. C. Martin, *Journ. Telev. Soc.*, 1, 377, 1934.
 छ—G. I. Finch and A. G. Quarrell, *Proc. Phys. Soc.*, 46, 148, 1934.
 ज—G. P. Thomson, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.
 झ—W. Ehrenberg, *Phil. Mag.*, 18, 878, 1934.

1. Gun 2. Diaphragms 3. Slits 4. Flexible 5. Retarding potential
 6. Inelastic 7. Energy 8. Accelerating 9. Radial

अध्याय ६

अनुप्रयोग

अभ्येष्टन के उपकरण^१ के रूप में इलेक्ट्रान विवर्तन की उपयोगिता को पूर्णतः समझने के लिए यह समझना आवश्यक है कि किस-किस प्रकार की समस्याएँ इस साधन के द्वारा सबसे सरलता से सुलझायी जा सकती हैं। सम्भवतः इसकी सर्वोत्तम विधि है एक्स-किरण तथा इलेक्ट्रान विवर्तन के बीच के मौलिक भेदों पर दृष्टिपात करना। सबसे महत्वपूर्ण भेद यह है कि विवर्तन कार्य में काम आनेवाले तीव्रतम इलेक्ट्रानों में भी पदार्थ में वेधन^२ की क्षमता बहुत अल्प होती है, जिसका कारण यह है कि इलेक्ट्रान मणिम लैटिस के परमाणुओं द्वारा बहुत तत्परता से प्रकीर्णित^३ और अवशोषित (अर्थात् अप्रत्यास्थ^४ प्रकीर्णित) हो जाते हैं। सामान्यतः काम आनेवाली वोल्टताओं (— 40 किलोवोल्ट) के इलेक्ट्रान, α -किरणों की तुलना में, लगभग 10^7 गुने अधिक अप्रत्यास्थ^४ प्रकीर्णित होते हैं, जबकि अप्रत्यास्थ^४ प्रकीर्णन से पूर्व मणिम में उनका मध्यमान स्वतन्त्र पथ 500 एं० की कोटि का होता है। अभिलम्ब आपात के लिए द्रुत इलेक्ट्रानों के वेधन की गहराई 200 लैटिस तलों की कोटि की होती है, जबकि तय्यकथित परावर्तन प्रयोगों में काम आनेवाले सटते^५ कोणों के लिए दंड का वेधन 10 तलों की कोटि का होता है। इस अल्प वेधन-क्षमता के कारण इलेक्ट्रान पृष्ठगत गुणों और क्रियाओं के अध्ययन के लिए बहुत उपयोगी और सुविधाजनक^६ करण^७ हो जाते हैं। α -किरण मणिम विश्लेषण और इलेक्ट्रान विवर्तन को परस्पर कोटिपूरक मानना चाहिए; पहला तो पदार्थ के भीतरी के परीक्षण के लिए अवतुलनीय है, और दूसरे में पृष्ठीय रचना, पतले पटल, तथा स्वतन्त्र अणुओं के गुणों के अनुसंधान के लिए विशेष क्षमताएँ हैं। इलेक्ट्रान विवर्तन का एक और लाभ, जिसका उल्लेख वाष्पों में प्रकीर्णन के सम्बन्ध में किया जा चुका है, यह भी है कि इलेक्ट्रान सरलता से प्रकीर्णित हो जाता है इसलिए विवर्तन प्ररूप की तीव्रता अधिक होती है, और फलतः फोटोग्राफी कार्यों में बहुत अल्प प्रकाशकरण^८ काल पर्याप्त होते हैं। जबकि α -किरणों में प्रकाशकरण काल घंटों का होता है, इलेक्ट्रानों में कुछ सैकड़ ही पर्याप्त

1. Instrument 2. Penetration 3. Scatter 4. Inelastically 5. Angstroms, Å 6. Glancing 7. Tool 8. Complementary 9. Exposure

होते हैं, और इस प्रकार समय की बहुत बचत होती है। (इसकी कुछ कसर इस बात में निकल जाती है कि उपकरण को निर्वातित करना होता है, जैसा पिछले अध्याय में बताया जा चुका है)।

इलेक्ट्रान विवर्तन के सुविशेष अनुप्रयोग—इलेक्ट्रान विवर्तन के अनुप्रयोगों के कुछ उल्लेख पुस्तक के प्रारम्भिक भागों में दिये जा चुके हैं। अतः परमाणवीय दूरियों के निर्धारण में, तथा वाष्प अवस्था में पदार्थों के आणविक रूपों के अनुमान में इसके उपयोग का वर्णन दिया गया है, और यह भी बताया गया है कि कैसे इलेक्ट्रान विवर्तन प्ररूपों से मणिमों के आन्तरिक विभव का निगमन हो सकता है। इन अध्याय में अधिक व्यावहारिक अनुप्रयोगों में से कुछ का विवरण दिया जायगा, क्योंकि सामान्य पाठक के लिए इनमें अधिक आकर्षण होगा, और विषय के निदानों का निरूपण करने में भी ये उतने ही उपयोगी होंगे।

लिथिज¹ द्वारा स्नेहन² —जॉर्किन³ ने इलेक्ट्रान विवर्तन का उपयोग लिथिज स्नेहन की प्रक्रिया का अध्ययन करने में, और लिथिज तथा अमणिम⁴ कायन के गुणों की तुलना करने में किया है। प्रारम्भिक प्रयोगों में एक बहुमणिमी⁵ लिथिज पृष्ठ से तथा एक एकाकी मणिम के विदलन फलक⁶ में परावर्तन द्वारा विवर्तन प्ररूप प्राप्त किये गये। बहुमणिमी पृष्ठ तैयार करने में एलकोहल में छिन्ना हुआ बारीक लिथिज चूर्ण एक घणित⁷ कांच के नमूने पर निक्षेपित⁸ किया जाता है। ऐंम⁹ ही नमूने 'एक्वाडाग'¹⁰ नामक द्रव्य से बनाये गये, जो ई. जी. एच.नन लिमिटेड द्वारा तैयार किया गया पानी में कलिल¹¹ लिथिज का छितरन¹² है। इन दोनों नमूनों ने यलय-प्ररूप¹³ दिये, जो हल¹⁴ द्वारा x-किरणों में प्राप्त प्ररूपों में मेल खाने थे। एक मात्र अन्तर यह था कि कलिल लिथिज में प्राप्त नमूनों में हमारे नमूनों की अपेक्षा अधिक विमरित¹⁵ बन्ध प्राप्त हुए, जिसका अर्थ था कि कलिल लिथिज में मणिम आकार¹⁶ अनुतर¹⁷ होता है। एकाकी मणिम के विदलन फलकों से एक घब्रावाला प्ररूप प्राप्त होता है। प्रयुक्त मणिम में थोड़ी-सी वक्रता होने के कारण प्ररूप की मध्य रेखा पर विदलन फलक से उत्पन्न घबरे की अनेक कोटियाँ¹⁸ उत्पन्न हुईं। इसका प्रभाव घूर्णन प्ररूप उत्पन्न करने का है। इन घबरा में आन्तरिक विभव का प्रभाव पाया गया, और इसे प्रचन्द्रित तरीके से निर्धारित कर लिया गया।

1. Interatomic 2. Atomic 3. Deduction 4. Graphite 5. Lubrication
6. Amorphous 7. Polycrystalline 8. Cleavage face 9. Ground 10. Deposit
11. Aquadag 12. Colloidal 13. Suspension 14. Hull 15. Diffuse
16. Size 17. Orders

फिर उपर्युक्त बहुमणिमी नमूनों को एक रई के पैठ में हलके-हलके रगड़कर पालिश कर लिया गया। इस क्रिया से विवर्तन प्ररूप एकदम बदल गया। धलय लग-भग लुप्त हो गये, और मध्य रेखा पर विदलन तल से परावर्तन की विभिन्न कोटियों से गगत विसरित^१ धव्योंकी, या छोटे वृत्तखंडों^२की, एक पक्ति, और बगलमें हलके धव्यों की दो पक्तियाँ रह गयीं। धव्यों की मध्यवर्ती पक्ति तो एकाकी मणिम प्ररूप की मध्यवाली पक्ति से संगति रखती है, और बगलवाली धव्यों की पक्तियाँ वे हैं जो एकाकी मणिमों के कुछ विशेष दिगंशों^३ से प्राप्त हो सकती हैं। यह प्ररूप समस्त छोटे मणिमों के घूमकर इस प्रकार दैशित^४ हो जाने से उत्पन्न होता है कि उनका प्रमुख विदलन तल नमूने के पृष्ठ के समांतर हो जाय। साथ ही धव्यों का विसरित होना यह यताता है कि पालिश की क्रिया में मणिमों के आकार और भी छोटे हो गये हैं। अनेक अन्य प्रकार से प्राप्त नमूनों ने भी पालिश करने पर इसी प्रकार के प्ररूप दिये।

अमणिमी कार्बन का नमूना तैयार करने के लिए घणित काँच के एक टुकड़े पर एक अमणिमी आर्क कार्बन को रगड़ा गया। इससे एक चपटा दर्पण जैसा पृष्ठ प्राप्त हुआ, यद्यपि यह लिखित जितना चमकदार नहीं था। इस नमूने से प्राप्त विवर्तन प्ररूप में तीन तीज, किन्तु विसरित धलय प्राप्त हुए, जो लिरिज के प्ररूप के तीन तीव्र-तम धलयों से संगति रखते हैं, किन्तु पालिश करने पर लिखित पृष्ठ में जो दैशितता का प्रभाव आता था, उसके कोई आशार इसमें नहीं दिखाई दिये।

इस नमूने का भी बहुत अधिक पालिश करने से दैशितता के प्रभाव तो प्राप्त हुए, किन्तु मणिम आकार में कोई कमी आभासित नहीं हुई। इसकी यह व्याख्या सुझायी गयी है कि अमणिमी कार्बन में बहुत छोटे लिखित मणिमों के दृढता से बद्ध संघ^५ होती है। पहली पालिश से पृष्ठ चिकना हो जाता है, किन्तु दैशितता नहीं उत्पन्न होती, जबकि बाद की पालिश में ये संघ खंडित हो जाते हैं, और मणिम आकार घटे बिना दैशितता उत्पन्न होने लगती है।

यह देखने के लिए एक अंतिम प्रयोग किया गया कि क्या कलिल लिखित^६ धारी तैल से स्नेहित^७ घातविक वीर्यारिण^८ के पृष्ठ पर लिखित की अधिशोषित तह^९ बन जाती है। स्वीडनी लोहे के एक चपटे पालिशदार नमूने को एक चपटी लोहे की टेबल पर तीन घंटे तक, बीच में "जाइलडाम"^{१०} (एक कलिल लिखित धारी तैल) से स्नेहन

1. Diffuse 2. Arcs 3. Azimuths 4. Oriented 5. Aggregates
6. Colloidal graphite 7. Lubricated 8. Metallic bearing 9. Adsorbed layer 10. Oildag

करके, रगड़ा गया। उसके बाद नमूने के पृष्ठ को अनेक बार घेनखीन में रई से रगड़ कर धोया गया। विवर्तन प्ररूपों में लोहे और लिपिज दोनों के वलय पाये गये। अधिक घाने से भी लिपिज की तह हट न सकी। जब नमूने को रई के एक पैड से जोर से रगड़ा गया, तो विवर्तन प्ररूप से पता लगा कि मणिभ दैशितता ग्रहण कर रहे हैं और छोटे होते जा रहे हैं। साथ ही धातु के वलय लगभग दब गये, जिनका संकेत यह हुआ कि लिपिज पटल सारे पृष्ठ पर फैल गया है।

बाद में इसी समस्या का किच ने अध्ययन किया है। उन्होंने पाया कि लिपिज की बहुत पतली पटलें, जो एक्वाडाग¹ (कलिल लिपिज-धारी पानी) के वाष्पन से निक्षिप्त की गयी थी, पालिश करने से पहले भी दैशितता दिखाती हैं। उन्होंने यह भी पाया कि रेगमाल² पर पालिश किया गया एक ढलवां लोहेका नमूना आशिक दैशितता वाला लिपिज प्ररूप देता है। नरम इस्पात इमी क्रिया के पदचानु सामान्य लोहे का प्ररूप देता है। निश्चित ही ढलवां लोहे का स्याकथित स्वतः स्नेहन³ का गुण स्वयं को लिपिज के एक पटल से लेप लेने की इस क्षमता के कारण ही है।

तेल और शीज—स्नेहन के एक अन्य प्रश्न का, जो कुछ भिन्न ढंग का है, मुरिमन⁴ ने अध्ययन किया है। एडम, लैगम्पूर, राइडील और अन्य कार्यकर्ताओं ने दीर्घ श्रृंखली यौगिकों⁵ की पानी पर बनी एक-आणव⁶ पटलों के अध्ययन से बताया है कि यदि अणु लम्बे हों, और उनके एक सिरे पर जल-आकर्षक समूह हों, तो वे घने रूप में अगल-बगल से एकत्र हो जाते हैं, और उनके लम्बे अक्ष पानी के पृष्ठ से काफी दालू कोणसे दैशित हो जाते हैं। इसके विपरीत, यदि अणु छोटे हों, और उनके दोनों सिरे पर जल-आकर्षक समूह हों, तो वे पानी पर सपाट रहते हैं, और स्वतन्त्रता से इधर-उधर घूमते हैं। प्रथम प्रकार के अणुओं के माँटे पटलों के x -किरण अध्ययन से पता लगता है कि अणु इस प्रकार की जमावट में होते हैं कि उनके सिरे पृष्ठ के समांतर तहों में स्थित रहें। ये x -किरण प्ररूप अणु की भारी लम्बाई पर एकसमान घनता का प्रकीर्णक पदार्थ मानने से सरलता से समझ में आ जाते हैं; विवर्तन प्ररूप उत्पन्न करनेवाली आवर्त विरतता⁷ अणुओं की तहों के बीच का अंतरण⁸ है। यदि द्रुमी प्रकार के पटलों का परीक्षण इलेक्ट्रान विवर्तन द्वारा परावर्तन में किया जाय, तो अणु की लम्बाई से

1. Aquadag 2. Emery paper 3. Self-lubricating 4. Long chain compounds 5. Monomolecular 6. Periodic discontinuity 7. Spacing

संगत अंतरण इतना अधिक होता है कि उनके द्वारा उत्पन्न विवर्तन केन्द्रीय ध्वज के बहुत ही पास होने के कारण दीर्घा नहीं।

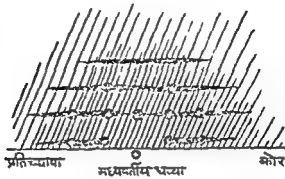
वास्तव में तैलों और ग्रीजों में इलेक्ट्रान विवर्तन के अनेक प्रकार के प्ररूप पाये गये हैं, और इनकी व्याख्या लम्बी शृंखला में कार्बन के क्रमिक परमाणुओं द्वारा प्रकीर्णन के आधार पर की गयी है। प्राप्त प्ररूपों का मुरिसन ने इस प्रकार वर्गीकरण किया है—

- (क) प्रतिच्छाया कोर^१ के समान्तर ऋजु रेखाओंवाला प्ररूप।
- (ख) उपर्युक्त प्रकार का ऋजु रेखाओं का प्ररूप, किन्तु रेखाओं पर ध्वजों के साथ (आकृति ३९)।
- (ग) तीक्ष्ण वलय^२।
- (घ) विसरित^३ वलय, या सिरों पर मुड़ी रेखाएँ।
- (ङ) विसरित वलय।
- (च) विसरित वलय (रिंग्ज), जिनमें दूसरे वलय के भीतर एक धब्बा हो।

प्रथम दो प्रकार के प्ररूप मुख्यतः ग्रीजों और बहुत भारी तैलों से प्राप्त होते हैं। आंतरिक विभव के प्रभाव के कारण रेखाओं के बीच के अंतरण एकसमान नहीं होते। किन्तु आंतरिक विभव की गणना में लेने पर रेखाओं के बीच की दूरी से निगमित अंतरण अ-किरण विधि से निर्धारित कार्बन शृंखलाकी चपटी टेढ़ी-मेढ़ी रचना में एकांतर कार्बन परमाणुओं के बीच की दूरी से मेल खाता है। इस प्रकार के प्ररूपों की समझने के लिए शृंखलाओं को पृष्ठ के अभिलम्ब मानना होता है। मान लीजिए कि अणु इस प्रकार दैर्घित है, किन्तु अन्यथा यदृच्छा^४ से वितरित है। इलेक्ट्रान दब अणुओं की लम्बाई से लगभग लम्ब दिशा से आपाती होता है, अतः प्रकीर्णन की तीव्रता अणु की अक्ष मानकर खींचे गये शंकुओं की एक श्रेणी पर अधिकतम होगी। ये शंकु प्लेट की अतिपरवलयों^५ में काटेंगे, किन्तु नीची विवर्तन कोटियों^६ से संगत शंकुओं के अर्द्ध-शीर्ष कोण दीर्घ होने के कारण ये अतिपरवलय प्लेट पर ऋजु रेखाओं के रूप में ही आयेंगे। यह (क) वर्ग के प्ररूपों की व्याख्या है। अब यदि अणुओं में स कुछ छोटे समूहों^७ में पास-पास घने रूप में एकत्र रहते हैं, तो पास की दो शृंखलाओं के बीच जो अंतरण होता है उसके कारण होनेवाले ध्वजों में वे जो तीव्र होंगे वे प्रकट हो जायेंगे। ज्यों-ज्यों सामूहिक^८ बढ़ता जाता है, वे ध्वज स्पष्टतर होते जाते हैं, और रेखाएँ लुप्त होने लगती हैं। किन्तु वे पूर्णतः लुप्त

1. Shadow edge 2. Rings 3. Diffuse 4. At random 5. Hyperbolae
6. Orders 7. Groups 8. Grouping

कभी नहीं होती, जिसका अर्थ यह है कि मभी अणु पनी जमावट के समूह कभी नहीं बनते । यह (ग) वर्ग के प्ररूपों की व्याख्या है । यह पाया गया है कि विगुद्ध पदार्थों का अपेक्षा



आकृति ३९—एक गोज प्ररूप ।

हाइड्रोजनार्बनों के मिश्रणों में दैशितता की प्रवृत्ति अधिक होती है, और यह सुझाया गया है कि विगुद्ध पदार्थों में छोटे-छोटे मणिभी गुट्ट बनाने की प्रवृत्ति होती है, जो यदृच्छा से वितरित और दैशित होते हैं । तीक्ष्ण बल्यवाले प्ररूप मुख्यत विगुद्ध पदार्थों से ही प्राप्त होन हैं, जो तत्परता से मणिभित होने पाये गये हैं, और इनमें दाका नहीं है कि ये प्ररूप छोटे मणिभों के यदृच्छ वितरण के कारण होते हैं ।

वर्ग (घ) के प्ररूप अधिकांशत वगीय अम्लों^१ और एलकोहलों से प्राप्त होते हैं, और उनकी व्याख्या के लिए मानना होता है कि अणु नमूने के पृष्ठ से एक निश्चित कोण बनाते हैं, किन्तु अन्यथा यदृच्छया वितरित होते हैं ।

अंतिम दो वर्गों के प्ररूप तैलों से प्राप्त होते हैं । ट्रिल्टाट ने एक्म-किरणों से और रप ने संद इलेक्ट्रॉनों से यह दर्शाया है कि एकतैल पटल में अणुओं की चौटीवाली तह में अणु इस प्रकार दैशित होते हैं कि उनका दीर्घ अक्ष पृष्ठ से अभिलम्ब रहे । गुरिमन द्वारा प्राप्त विमरित^१ बल्यवाले प्ररूप वैसे ही हैं, जैसे मार्क और बीयर्ल ने धाप्पा से प्राप्त किये हैं, और उनकी व्याख्या भी उर्नी प्रकार हो सकती है । बाद में अमेरिका में मैक्सवेल ने पतले पटलों के पार सचरण^१ से भी वैसे ही बलय प्राप्त किये हैं । जब पटल बहुत पतले होते थे तो कुछ तैलों में ऐसे प्ररूप प्राप्त हुए जिनमें द्वितीय बलय

के भीतर एक धब्बा प्रकट होता था। यह धब्बा ग्रीज प्ररूप की दूसरी रेखा पर उत्पन्न तीव्र धब्बे के समकक्ष^१ होता है, और संकेत करता है कि तैल दैशितता ग्रहण करने लगा है।

मुरिसन विभिन्न तैलों की स्नेहन^२ क्रियाओं के विषय में बहुत निश्चित तथा उपयोगी निष्कर्षों पर पहुँचने में सफल हुआ है। वह इस निष्कर्ष पर पहुँचा कि विगुद्ध पदार्थ बहुमणिभी^३ तह बनाने की प्रवृत्ति रखते हैं और अशुद्ध पदार्थों में दैशितता आने की संभावना अधिक होती है। ग्रीज में कुछ स्थतत्र अणु सदा उपस्थित रहते हैं, और इनके कारण ठोसे सघों^४ को एक दूसरे के समांतर विसर्पण में सुविधा प्राप्त होती है। उधर, अणुओं की दैशितता पृष्ठभूमि^५ तथा ग्रीज के बीच प्रबल आकर्षण बलों की प्रतीक है, जिसके फल स्वरूप सर्वाधिक दैशिततावाले तैलों और ग्रीजों में यह संभावना न्यूनतम रहती है कि दाब के कारण वे वीरिंग के पृष्ठों से बाहर निचुड़ जायें। यह देखा गया कि तैल का आणव भार जितना अधिक हो, उतनी ही उसमें दैशितता की प्रवृत्ति अधिक होती है, अतः यह निष्कर्ष निकला कि स्नेहन-क्षमता आणव भार के साथ बढ़ती जायगी। यह फल दीर्घ-भ्रूतलावाले विगुद्ध द्रव यौगिकों के स्नेहन गुणों पर किये गये सर विलियम हार्डी के प्रयोगों से मेल खाता है।

ग्रीज की आणव तह—ट्रिल्लाट^६ ने इलेक्ट्रान वियर्तन से, पतले पटलों के रूप में, अनेक कार्वनिक^७ पदार्थों का परीक्षण किया है। अधिक बार तो प्ररूप वे ही आते हैं जो इन पदार्थों की α -किरण अध्ययन से प्राप्त रचना के आधार पर प्रत्याशित किये जाते हैं, किन्तु कुछ नमूनों में प्ररूप α -किरण मापों के अनुरूप नहीं आते, और कुछ में प्रत्याशित प्ररूप के साथ कुछ अतिरिक्त धब्बे और बलय आते हैं। अध्याय ३ में हम अकार्बनिक^८ पटलों से प्राप्त इसी प्रकार के अतिरिक्त बलयों की, तथा उनके सम्बन्ध में किच द्वारा दी गयी व्याख्या की चर्चा कर चुके हैं। ट्रिल्लाट ने एक दूसरा ही सिद्धान्त प्रतिपादित किया है, और उसके कार्य से प्रकट होता है कि, कम से कम कुछ केसों में, यह सिद्धान्त सही होगा। उसका सुझाव है कि ये अतिरिक्त बलय और धब्बे नमूने पर बनी बहुत पतली (संभवतः एक-आणव) ग्रीज तह के कारण आते हैं। यदि ग्रीज के अणु पटल से अभिलम्बतः दैशित हो, और घनता से सघित^९ हों तो पटल के अभिलम्बतः देखने से वे क्रॉस-ग्रेटिंग^{१०} जैसे दीखेंगे। यदि पटल अणुओं के अनेक ऐसे सघों से ढका हो, जो पृष्ठ पर यदृच्छया^{१०} वितरित हों, तो पटल के पार इलेक्ट्रान दंड भेजने

1 Analogous 2. Lubricating 3. Polycrystalline 4. Packed groups
5. Substrata 6. Organic 7. Inorganic 8. Grouped 9. Cross-grating
10. Randomly

अन्य धातुप्रयोग—इलेक्ट्रान विद्युतन द्वारा जिन अन्य नमूनों का अध्ययन किया गया है, उनमें से कुछ का यही संक्षिप्त उल्लेख किया जायगा। इन विधि का उपयोग आताइट सेपित तंतुओं¹ की रचना तथा उनका विपाकन², प्लैटिनम पटलों की उत्प्रेरक³ क्रिया, और प्लैटिनम⁴ एस्चस्टम पर प्लैटिनम के निक्षेप⁵ की प्रकृति के अध्ययन में किया गया है। पालिसादर हिमे गये धातुओं के पृष्ठ पर किसी द्रव या अम-निभ⁶ तह के बनने के रोचक प्रश्न पर भी बहुत प्रकाश डाला गया है। ऐसी तह की उपस्थिति गर्भप्रयम बीलथी ने अनेक पालिसादर पृष्ठों के सूक्ष्मदर्शीय अध्ययन के आधार पर गुतायी थी, किन्तु इमे सार्व मान्यता नहीं मिली थी। बाद में इलेक्ट्रान विद्युतन विधियों से इस समस्या पर किये गये विस्तृत अन्वेषणों से यह प्रतीत होता है कि ऐसी तह बननी ही है। पालिसादर धातु से प्राप्त प्ररण में दो विसरित बलय आते हैं जो एक ही प्रमुख अंतरण से उत्पन्न विद्युतन की दो कोटियाँ हैं। यह अंतरण परमाणुओं के सामीप्य⁷ की निवृत्ततम दूरी है, और यह सभी धातुओं के लिए लगभग समान पायी जाती है।

पुष्ठीय रचना—इस अध्याय के उपगहार के रूप में उन विधियों का संक्षिप्त विवरण देना उचित होगा जिनके आधार पर पृष्ठों की उस बारीक रचना के विषय में सूचना प्राप्त की जा सकती है, जो सूक्ष्मदर्शी के अध्ययन क्षेत्र से लघुतर है, किन्तु आवश्यक रूप से स्वयं मणिभ लैटिस की रचना के बराबर बारीक नहीं।

सबसे पहले विचार कीजिए कि एकाकी मणिभ के विदलन फलको⁸ की प्रकृति के विषय में क्या ज्ञान प्राप्त किया जा सकता है। अध्याय ४ के प्रारंभ में हम विदलन फलक के लिए विद्युतन प्रतिबन्धों पर विचार करने की किर्चनर की विधि का, और इन प्रतिबन्धों के ढीलन से प्ररण पर पट्टेवाले प्रभाव का विवेचन कर चुके हैं। हमने दिखाया है कि इलेक्ट्रानों के लिए श्रेष्ठ प्रतिबन्ध प्रायः अधिक या कम मात्रा में ढीला होता है, जिसका कारण अभी तक पूर्णतः समझ में नहीं आया है, किन्तु जिसका सम्बन्ध अस्थायी रूप से अभी वेधन⁹ के अभाव से लगाया जाता है। दूसरा प्रतिबन्ध भी, जो बंड की दिशा में कमिक परमाणुओं से उत्पन्न तरंगिकाओं के व्यतिकरण¹⁰ से संगत है, और जिसे हम “वृत्त प्रतिबन्ध” कहेंगे, प्रायः ढीला पड़ता है, जिसका कारण मणिभ फलक की आदर्श-व्युति है। तीसरा प्रतिबन्ध कभी-कभी ही ढीला होता है, क्योंकि उस पर

1. Coated filaments 2. Poisoning 3. Catalytic 4. Platinised 5. Deposit 6. Amorphous 7. Approach 8. Cleavage planes 9. Penetration 10. Interference

मणिम की आदर्श-च्युति का प्रभाव कम पड़ता है। इसलिए, हमारे वर्तमान उद्देश्य के लिए, वृत्त प्रतिबन्ध का ढीलन ही सबसे अधिक सूचना दे सकेगा। यदि मणिम फलक २० परमाणु वर्ग की कोटि के छोटे खण्डों में बँटा हो, तो यह चिबर्तन प्रतिबन्ध ढीला होगा। इसके फलस्वरूप, और पहले प्रतिबन्ध को हम अशतः ढीला मान सकते हैं इसलिए, प्ररूप के धब्बे प्रच्छाया-कोर^१ से लम्ब दिशा में छोटी रेखाओं के रूप में फैल जायेंगे। इन रेखाओं को लम्बाई मणिम गुटकों के आकार के विषय में हमें सूचना देगी, किन्तु क्योंकि ग्रैग प्रतिबन्ध से ढीलन कितना होता है इसका ज्ञान नहीं है, इसलिए यह सूचना बहुत स्थूल ही हो सकती है। यदि फैलाव का परिसीमन^२ केवल वृत्त प्रतिबन्ध के कारण ही हो, अर्थात् यदि ग्रैग प्रतिबन्ध पूर्णतः ढीला हो जाय, तो मणिम आकार का एक निकट अनुमान संभव हो सकता है।

एक और ढग से भी लगभग समरूपी प्ररूप उत्पन्न हो सकता है। मान लीजिए कि एक मणिम फलक खंडों में बँटा हो, जो यद्यपि छोटे हैं, फिर भी वृत्त प्रतिबन्ध को कठोर बनाने के लिए पर्याप्त रूप से बड़े हैं। अब मान लीजिए कि ये खंड एक दूसरे से कुछ अश झुके हुए हैं। इस कारण से भी धब्बे प्रच्छाया-कोर से लम्ब दिशा में रेखाओं में परिणत हो जायेंगे। इस दशा में धब्बों का थोड़ा-सा फैलाव छाया-कोर की दिशा में भी होगा; किन्तु इसके अतिरिक्त यह प्ररूप ऊपर वर्णित प्ररूप से बहुत समरूपी होगा। हाँ, किबुची रेखाओं के प्रेक्षण से इन दो दशाओं के बीच भेद करना संभव है। पहली दशा में किबुची रेखाएँ तीक्ष्ण होंगी, दूसरी दशा में वे बहुत धुंधली होंगी, या पूर्णतः लुप्त हो जायेंगी। यह याद रखना आवश्यक है कि यद्यपि धब्बों के लिए ग्रैग प्रतिबन्ध ढीला होता है, किबुची रेखाओं के लिए वह कठोर रहता है। इस प्रकार हम धब्बोंवाले और किबुची रेखाओंवाले प्ररूपों की सहायता से यह मालूम कर सकते हैं कि कोई विदलन फलक लगभग 10^{-5} से. मी. वर्ग से अधिक क्षेत्रफल पर आदर्श है या नहीं, और यदि वह आदर्श नहीं है, तो उसमें आदर्श से किस प्रकार की च्युति है इसका कुछ ज्ञान हो सकता है।

जैसा ममज्ञाया जा चुका है, एचि^३ एकाकी मणिम क्रास-प्रेटिंग-प्ररूप देते हैं, क्योंकि दण्ड मणिम पृष्ठ पर की छोटी उठानों^४ के पार वेधन^५ कर सकता है। उस कटिबन्ध^६ की त्रिज्या पर विचार करके, जिसमें क्रास-प्रेटिंग धब्बे तीव्र होते हैं, यह नभव है कि अघ्याय ३ के समीकरण (३) से हम इन उठानों की मोटाई का स्थूल परि-मापन^७ कर सकें। उठानों के लिए इस प्रकार प्राप्त परिमाण इस भान्यता पर निर्भर

1. Shadow edge 2 Limitation 3. Etched 4. Projections 5. Penetration
6. Zone 7. Estimate

है कि मणिम अविकृत है, क्योंकि विकृति ने भी कटिबंध की विद्युत बनेगी, प्रभाव उठान की आभासी मोटाई कम होने-जैसा पड़ेगा। यहाँ भी मणिम होने, महोने का निर्णय किन्तुभी रेखाओं से होता है। यदि मे रेखाएँ तीव्र हों तो निश्चय आदर्श होना चाहिए। दंड के पथ में इन उठानों के जो दोषफल आते आकार का परिमाणन स्थूल रूप से प्ररूप के घट्टों की तीव्रता से ही सव निमी भी घट्टे का कोणीय अर्द्ध-विस्तार^१ सन्निकटता से समीकरण $\phi = \lambda / \lambda$ होगा है, जिसमें ϕ अर्द्ध-विस्तार है, और λ , जिस दिशा में घट्टे का फैलाव मा है उसके समान्तर दिशा में, उठे हुए भागों का आकार है।

इसी प्रकार की विधियों में बहुतमणिभी पृष्ठों की रचना का भी अध्ययन हो है। विवर्तन घलकों की चौड़ाई से मणिम आकार के विषय में भूचना मिले मद्यपि इस प्रकार के मापों से निष्कर्ष निकालने में बहुत सावधान रहना आवश्यक बहुत छोटे मणिम, जो लगभग २० परमाणु वर्ग से कम आकार के हों, तीव्र नहीं दे सकते, किन्तु इसका यह अर्थ नहीं कि जहाँ विसरित वलय प्राप्त हों वे मणिमों के छोटे आकार के कारण हों। जब मणिम काफी बड़े हों, तो यह संभव कुछ मणिमों में दंड जिस पृष्ठ से प्रवेश कर रहा है उनी पृष्ठ से कटावती^२ का निकले। तब एक विवर्तित घट्टा बनेगा, जो वर्तन के कारण कुछ कम-अधिक घट्टे की ओर बिचा रहेगा। यदि यह घटना यदुच्छा से वितरित अनेक मणिमों के हो जाय, तो वलय भीतर की ओर विसरित होंगे। घलकों का बाहरी कोर रहेगा, और यह लपुतर उठानों में इलेक्ट्रानों के वेधन के कारण होगा। बहुत से जिनमें इस प्रकार का प्रभाव कार्य करता प्रतीत होता है, प्रेक्षित किये गये हैं।

संदर्भ

- क—R. O. Jenkins, *Phil. Mag.*, 17, 457, 1934.
 ख—C. A. Murison, *Phil. Mag.*, 17, 201, 1934.
 ग—Trillat, *Trans. Faraday Soc.*, Sept. 1935.
 घ—G. I. Finch and A. G. Quarrell, *Proc. Roy. Soc.*, 398, 1933; A. G. Quarrell, *Proc. Phys. Soc.*, 46, 148, 1934.
 ङ—R. O. Jenkins, *Proc. Phys. Soc.*, 47, 1934.
 च—Lark-Horovitz, Yearian and Howe, *Phys. Rev.*, July 1934.

पारिभाषिक शब्दावली

(अंग्रेजी-हिन्दी)

Absorption अवशोषण	Band पट्टी, पट्ट
Accelerate, to त्वरित करना	Basal plane आचारी तल
Accelerating (<i>adj</i>) त्वारक	Beam, Electron इलेक्ट्रान दंड
Acceleration त्वरण	Biasing action विभेदपूर्ण क्रिया
Adjacent मंलग्न, निकटवर्ती	Black-body कृष्ण पिंड
Adjust, to समजम करना	Block, Crystal मणिम गुटका
Adsorption अधिशोषण	Block (divided into) खण्ड
Aggregate मघ	Blurred अस्फुट, धुंधला
Alignment एकदैर्गितता	Body-centred Lattice
Alternating प्रत्यावर्ती	पिंड केन्द्रीय लैटिस
Amorphous अमणिम	Capillary कैशिका
Amplitude आयाम	Cathode ऋणाग्र
Anomalous अमामान्य	Cell, unit एकाक कोषा
Anode धनाग्र	Centrifugal अपकेन्द्रीय
Aperture द्वारक	Centripetal अभिकेन्द्रीय
Apparent आभासी	Charge चार्ज
Application अनुप्रयोग	Charged चार्जित
Approximate मन्निकट	Cleavage face विदलन फलक
Approximation सन्निकटन	Coated लेपित
Arbitrary इच्छित	Coincident सपाती
Array (of points) व्यूह	Collector संग्राही
(बिन्दुओं का)	Collar कालर, ग्रंथेय
Atom परमाणु	Collision टक्कर
Atomic दरमाणवीय	Colloidal कलिल
Azimuth दिग्ग	Collimating (section) समातरक

Complementary कोटिपूरक	Deflection विक्षेप
Common साधं, मर्नेनिष्ठ	Degassed विगैसित
— to Two उभयनिष्ठ	Deposit निक्षेप, निक्षिप्त करना
Concentric संकेन्द्र	Derivation व्युत्पत्ति
Condenser संचारित्र	Develop (photo.) परिस्फुटित करना
Condition प्रतिबंध	Deviation विचलन
—, Relaxation of प्रतिबंध में हीलन	Device युक्ति
Conflict वैपरीत्य	Diagonal विकर्ण
Constant अचर	Differential Coefficient अवकल गुणक
Contamination अशुद्धि	Differentiation अवकलन
Continuous अधिरत	Diffract विवर्तित करना
Coordinate नियामक	Diffraction विवर्तन
Corresponding संगत	Diffuse विसरित
Cos θ कोज्या θ	Dimentional, (one, two, three) (एक-, द्वि-, त्रि-) दिश
Cross-grating क्रॉस-ग्रेटिंग	Diode द्वियोद
Cross-section, Area of काट- क्षेत्रफल	Discharge tube विसर्ग नली
Crystal मणिभ	Discontinuity विरतता
Crystal, Single एकाकी मणिभ	Discrepancy वैपम्य, विपमता
Crystalline मणिभी	Dispersion विक्षेपण
—, Poly—बहुमणिभी	Displacement विस्थापन
Crystallography—मणिभ-बीक्षण	Dissolving विलायन
Cube घनक	Distortion विकृति
Cubic type (crystal) घनक वर्ग का (मणिभ)	Divergent अपसृत
Curved वक्र	Drum ढोल
Damping अवमंदन	Dynamics गतिकी
Data न्यास	Edge कोर
Defined परिसीमित	Effective प्रभावकारी
	Elastic प्रत्यास्थी

Elasticity प्रत्यास्थता
 Electrometer विद्युन्मापी
 Electron, fast द्रुत इलेक्ट्रान
 —, Slow मंद इलेक्ट्रान
 —Beam इलेक्ट्रान दंड
 Electrostatic स्थिरवैद्युत
 Element of volume आयतनाद्य
 Elimination निरसन
 Elongated दीर्घित
 Emergent(ray) निर्गत(किरण)
 Energy ऊर्जा
 —, Kinetic गतिज ऊर्जा
 —, Potential स्थितिज ऊर्जा
 Envelope अन्वालोप
 Equidistant समदूरस्थ, समातरीय
 Estimate परिमाण
 Etched एचित
 Evacuated निर्वातित
 Explanation व्याख्या
 Exposure (time) प्रकाशकरण
 (का काल) प्रकाशन-काल
 Expression व्यञ्जक
 Extended (pattern) विस्तृत
 (प्रल्प)
 Extra (rings) अतिरिक्त (वलय)
 Face फलक
 —, Cleavage विदलन फलक
 Face-centred फलक केन्द्रीय
 Factor गुणक, गुणांक
 —, Structure रचना गुणांक
 Falling (of value) अवनमन

Faraday cylinder फैराडे बेलन
 Fast द्रुत
 Fatty वसीय
 Field बलक्षेत्र, क्षेत्र
 Filament तंतु
 Film पटल, फिल्म (फोटो०)
 Filter छाना, छानना
 Fine-structure वारीक रचना
 Flexible नम्य, लचीला
 Fluorescence प्रतिदीप्ति
 Focussing सगमन
 Fourier Series फूरियर श्रेणी
 Frequency आवृत्ति
 Function फलन, नियोग
 Fundamental मूलभूत
 Galvanometer धारामापी
 General साव, सावंत्रिक
 Generally सावतः
 Glancing (angle, incidence)
 कटाक्षी (कोण, आपात)
 Graphite लिखित
 Grating (line, cross, three
 dimensional) ग्रेटिंग (रैतिल,
 क्रस, त्रिदिश)
 Ground (joint) घटित (संयोजन)
 Group of waves सघ (तरंगों का)
 Group-velocity सघ-वेग
 Grove साँच
 Growth, crystal मणिभ गठन
 Gun (electron) त्वारक

Complement	अनुपूरक
Common	सामान्य
„ to	तक
Concentric	समकेंद्रीय
Condenser	संक्षेपक
Condition	स्थिति
—, Relax.	—, आराम
Conflict	विरोध
Constant	स्थिर
Contaminant	दूषक
Continuous	अविराम
Coordinate	समन्वित
Correspond	समजात
Cos θ कोज्य	
Cross-grate	वृत्त-वक्र
Cross-section	वृत्त-वक्र
Crystal मणि	
Crystal, Sin	
Crystalline	
—, Poly—	
Crystallography	
Cube घनक	
Cubic type (cry	
Curved वक्र	
Damping अवमंदन	
Data न्यास	
Defined परिसीमित	

Optics प्रकाशिकी	—difference विभ्रवान्तर
Order (of interference)	—, inner आंतरिक विभव
(व्यतिकरण की) कोटि	—energy स्थितिज ऊर्जा
Orders, diffraction	Powder method चूर्ण विधि
विवर्तन कोटियाँ	Predicted उद्घोषित
Ordinate कोट्यक	Probable प्रायिक
Organic कार्बनिक	Product (Reaction) उत्पादन
Orientation दैर्घ्यता	Progression, Arithmetic
Overlap, to प्रारोहित होना	समांतर श्रेणी
Packed ठने हुए	Quantum क्वांटम
Parabolic परवलयीय	Quanta क्वांटा
Parallelopiped समपङ्कलक	Rack and Pinion दडचकी
Pattern, Diffraction विवर्तन-ग्रहण	Radial त्रिज्यीय
—, Extended विस्तृत-ग्रहण	Radiation विकिरण
—, L-N- L-, N-ग्रहण	Random यदृच्छ
—, Ring वलय ग्रहण	Randomly यदृच्छा से, यदृच्छतः
Pencil (of rays) (किरण)सलाका	Range पराम
Periodically आवर्तनः	Reading पाठपाक
Phase कक्षा	Recess स्थाना
—, in समान कक्षा में	Reciprocal प्रतिलोम
—difference कक्षान्तर	Record अभिलेख
Photometry दैर्घ्यमापन	Recording (instr.) अभिलेखी
Physics भौतिकी	Rectify, to सुदृक् करना
Pivoted वर्जित	Reflector श्रृङ्खली
Polarisation ध्रुवन	Reflection परावर्तन
Polycrystalline बहुवर्णनी	Refraction वन्त
Port प्रवेश, गत	Refractive index ध्रुवन-सं
Re — प्रत्यक्ष	Regular नियमित
Reflection परावर्तन	Reinforce, to प्रबलन करना
Refraction वन्त	Polarisation ध्रुवन-प्रत्यक्ष

Half-orders अर्ध-कीटिप्ता	Layer तट, स्तर
Half-width अर्ध-विस्तार	Leak छारन, रारित
Homogeneity गंमादिता	Limited परिमितिगत
Homogeneous समान	Log p लघु p
Hypothesis परित्यजना	Lubricant स्नेहक
Imperfect अनारत	Lubrication स्नेहन
Incidence आगत	Magnification आवर्धन
Incident आगामी	Mass गंहति
Index सूच्यक	—, rest विराम गंहति
Induction coil प्रेरण-कुंडल	Mattar डम्प
Inelastic अग्रदायी	Mean free path मध्यमान स्वतंत्र पथ
Infinitesimal गुरुमनम	Mechanics मारिकी
Infinitesimally गुरुमननलः	Mica मभक
Inorganic अवातनिक	Microphotometer गुरुमदीप्तिमापी
Insulated पृथक्कृत	Minute (of arc) कला (कीण की)
Instrument उपाकरणिका	Mobility चत्पता
Integration अनुबलन	Model मॉडल, स्वरूप
Intensity तीव्रता	Molecule अणु
Interaction प्रक्रिया	Molecular आणव
Interatomic अंतर-परमाणवीय	Momentum गवेण
Intercept अतः गण्ड	Monatomic एक-परमाणवीय
Interference व्यतिकरण	Motion संचलन
Intersect, to प्रतिच्छेद करना	Multiple एकाधिक, बहुज
Irregular अनियमित	Net plane व्यूह तल
Jet चञ्चु	Normal अभिलम्ब
Joint जोड, सयोजक, संयोजन	Oblique तिरछा
Kinetic (energy) गतिज (ऊर्जा)	Observable प्रेक्षणीय
Lattice लैटिस	Observation प्रेक्षण
—, Space आकाश लैटिस	One-dimensional एक-दिश
Laue number लावे अंक	Optical प्रकाशीय

Optics प्रकाशिकी	—difference विभवान्तर
Order (of interference) (व्यतिकरण की) कौटि	—, inner आंतरिक विभव
Orders, diffraction विवर्तन कौटियाँ	—energy स्थितिज ऊर्जा
Ordinate कौट्यक	Powder method चूर्ण विधि
Organic कार्बनिक	Predicted उद्घोषित
Orientation दैर्घ्यता	Probable प्रायिक
Overlap, to प्रारोहित होना	Product (Reaction) उत्पादन
Packed ठमे हुए	Progression, Arithmetic गणितर श्रृं
Parabolic परबलयीय	Quantum क्वांटम
Parallelepiped समपट्टफलक	Quanta क्वांटा
Pattern, Diffraction विवर्तन-प्ररूप	Rack and Pinion दंडचक्री
—, Extended विस्तृत-प्ररूप	Radial त्रिज्यीय
—, L-N- L, N-प्ररूप	Radiation विकिरण
—, Ring वलय प्ररूप	Random यदृच्छ
Pencil (of rays) (किरण) शलाका	Randomly यदृच्छा में, यदृच्छन
Periodically आवर्तत.	Range पराम
Phase कला	Reading पाठ्योक्त
—, in समान कला में	Recess गोंचा
—difference कलान्तर	Reciprocal प्रतिलोम
Photometry दीप्तिमापन	Record आलेख
Physics भौतिकी	Recording (instr.) आलेखी
Pivoted चक्रीय	Rectify, to स्रजु करना
Polarisation ध्रुवण	Rectifier स्रजुकारी
Polycrystalline बहुमणिमी	Reflection परावर्तन
Port आग्रा; गड	Refraction वर्तन
Postulate मान्यता	Refractive index वर्तनांक
Potential विभव	Regular नियमित
Potential drop विभवपात	Reinforce, to प्रबलन करना
	Relativity आपेक्षिकतावाद

Relaxation (of condition)	Shutter छटा
दीप्ति (प्रतिष्ठ मे)	Single (crystal) एकत्री (मनिम)
Relay, Clockwork योद्धा,	Sin 0 ज्ञा ॥
महीनर	Slit दीर्घछिद्र
Repetition द्वापन	Slow मंद
Reproducible पुनरुत्पत्तीय	Smooth (curve) चित्रण (मन्द)
Revolving power विभेदना	Smoothing (condenser)
Resonance अनुनाद	माध्यवर्ती, समवर्ती (मंचास्त्र)
Resultant परिणामिक	Smoothened (current) मार्मिक
Retarding (force) अमन्दक (बल)	(पारा)
Ring वलय	Solution (Math.) हल
Rock Salt रोक साल्ट	—, particular —, विनिष्ट
Rotation घूर्णन	—, general —, मार्थ
—, Axis of घूर्णनाक्ष	Solvent विलायक
Rotation picture घूर्णन चित्र	Source, supply स्रोत, प्रदाय
Saturated संतृप्त	Space आकाश
Scatter, to प्रकीर्णित करना	—Lattice आकाश संरिण
Scattering प्रकीर्णन	Spacing अंतरण
—factor प्रकीर्णन गुणांक	Spark-gap स्फुलिंग दूरी
—point प्रकीर्णक बिन्दु	Spot धब्बा
Scaled मूदित	Spur उठान
Secondary द्वितीयिक	Sputtering स्पटरन
Sec 0 व्युत्पत्ता ०	Stage अवस्थान
Selective सुविनिष्ट	Standard प्रामाणिक, मानक
Sensitive सुग्राही	Step चरण
Set (of planes) योजन, संघात	Structure रचना
Set, to संस्थित करना	—factor रचना गुणांक
Setting संस्थिति	Subsidiary गौण
—, symmetrical सममित संस्थिति	Substrate पृष्ठभूमि

Superposition अध्यारोप	Transformation रूपांतर
Supply, H. T उच्चविभव स्रोत (प्रदाय)	Transformer परिवर्तक
Suppression दमन	Transmission संचरण, पागमन
Surface पृष्ठ, पृष्ठीय, पृष्ठगत	Typical प्रतिरूपा
Suspension छितरण, आन्वयन	Uniform एकगमान
Symmetrical सममित	Vacuum निर्वात
Symmetry सममिति	Variation परिवर्तन
Technical टेक्निकल	Vector दिष्ट
Technique टेक्नीक	Vertical ऊर्ध्वाधर
Term पद	Wavelength तरंग-दैर्घ्य
Tetrachloride चतुष्क्लोराइड	Wavelet तरंगित
Tetrahedral चतुःशीर्ष	Wave-front तरंगस्र
Theorem प्रमेय	Wave-mechanics तरंग-यांत्रिकी
Theory सिद्धान्त	Wave-packet तरंग-गुच्छ
Thermal motion तापीय संचलन	Work-function कार्यफलन
Thermionic उत्प्रेयनी	X-ray एक्स-किरण, X-किरण
Tilt नति, झुकावा	Zinc blende यकद इरेड
Tool करण	Zone-axis कटिबंध अक्ष

(हिन्दी-अंग्रेजी)

लंक, लाये Laue numbers	थकनमन Falling (of a value)
थतर-परमाणवीय Interatomic	अवमंदन Damping, Retarding
थतरण Spacing	अवशोषण Absorption, Extinction
अतःपण्ड Intercept	अवस्थाप Stage
अवर्धनिक Inorganic	अवस्थित Situated
अचर Constant	अशुद्धि Contamination
अणु Molecule	असफुटित Blurred
अतिरिक्त (बलय) Extra (rings)	असामान्य Anomalous
अप्यारोप Superposition	आकान Space
अपिगीयन Adsorption	—सैटिंग Space lattice
अन्यालोप Envelope	आणव Molecular
अनादर्श Imperfect	आधारी तल Basal plane
अनियमित Irregular	आंतरिक (विभव) (Inner)
अनुकलन Integration	potential
अनुनाद Resonance	आपात Incidence
अनुप्रयोग Application	"कटाक्षी (कोण) Grazing,
अपतृत Divergent	(Incidence angle)
अप्रत्यास्थी Inelastic	आपेक्षिकतावाद Relativity
अध्रक Mica	आभासी Apparent
अभिलम्ब Perpendicular; normal	आयतन Volume, Bulk
अभिलम्बतः Normally	आयतनांश Element of Volume
अमणिम Amorphous	आयाम Amplitude
अर्द्ध कोटिया Half orders	आला Port
अर्द्ध विस्तार Half width	आलेख Record
अवकलनगुणक Differential	आलेखी (यन्त्र) Recording
Coefficient	आवर्त Periodic
अवकलन Differentiation	आवर्द्धन Magnification

आवृत्ति Frequency	कला Phase, Minute (of arc)
इलेक्ट्रान Electron	— समान In Phase
— दंड " beam,	कलान्तर Phase difference
— द्रुत " fast	कलिल Colloid
इलेक्ट्रान, मंद Electron, slow	कलुपित Blackened
उठान Spur, hump	काट-क्षेत्रफल Cross-section, area
उत्पादन Product (of reaction)	of
उद्घोषित Predicted	कार्बनिक Organic
उपकरणिका Instrument	कार्यफलन Work function
उभयनिष्ठ Common to two	किरण, x- X-rays
उष्मा Heat	केशिका Capillary
उष्मायनी Thermionic	कृष्णपिंड Black body
ऊर्जा Energy	कोज्या θ Cos θ
— गतिज —, Kinetic	कोट्यंक Ordinate
— स्थितिज —, potential	कोटि Order
ऊर्ध्वाधर Vertical	— व्यतिकरण की Order of in-
ऋजु Straight, direct (current)	terference
ऋजुकरण Rectification	कौटिपूरक Complementary
ऋजुकारी Rectifier	कोर, प्रतिच्छाया Shadow edge
ऋणाग्र Cathode	कोषा, cell
एकदिश One-dimensional	क्रमिक Successive
एकदिशिकता Alignment	क्वांटम, क्वांटा Quantum, Quanta
एक-परमाणवीय Monatomic	क्षरण Leakage
एकसमान Uniform	क्षारित्र्य Leak (n.)
एकाकी (मणिभ) Single (Crystal)	खण्ड Blocks (division_ into)
एकाधिक Multiple	खाच Groove
एकाक (कोषा) Unit (cell)	गठन (मणिभ) Growth, Crystal
एचित Etched	गतिकी Dynamics
कटिबंध (अक्ष) Zone (axis)	गतिज Kinetic
करण Tool	गुटका Block

गुणक Coefficient	छितरण Suspension
गुणांक, रचना Structure factor	ज्या 0 Sin 0
—, प्रकीर्णन Scattering factor	झुकाव (नति) Tilt
गोश Subsidiary	टक्कर Collision
ग्रेटिंग Grating	टेक्नीक Technique
—रेखित Line grating	ठसाव Packing
—निर्दिश Three dimensional	डीलन (प्रसिध्द का)
grating	Relaxation (of a condition)
—क्रास Cross-grating	डीलित Relaxed
ग्रीवेय Collar	डोल Drum
घनक Cube	संतु Filament
—फलक केन्द्रीय Cube	तरंग-मुट्ट Wave-packet
face centred	तरंग-दैर्घ्य Wavelength
—, पिण्ड-केन्द्रीय—body centred	तरंग-संघ Wave-group
घनता Closeness (of packing),	तरंग-यांत्रिकी Wave-mechanics
Density (of distribution)	तरंगाग्र Wavefront
जोड़ (जोड़, पृष्ठ) Ground	तरंगिका Wavelet
(joint surface)	तल, व्यूह Net-plane
घूर्णन Rotation	तह Layer, स्तर
घूर्णनाक्ष —, axis of	तापीय संचलन Thermal
जेट Jet	motion
चतुर्शीर्ष Tetrahedral	तिरछा Oblique
चतुष्क्लोराइड Tetrachloride	तीव्रता Intensity
चर्यता Mobility	त्रिज्यीय Radial
चाप Arc	त्वरण Acceleration
चार्ज Charge	त्वारक
आर्जित Charged	Accelerator, (electron) gun
चूलित Pivoted	दंड, इलेक्ट्रॉन Electron beam
चूर्ण-विधि Powder method	दंड-चक्री Rack and pinion
छन्ना Filter	दिगंश Azimuth

दिग, (एक, द्वि, त्रि) Dimensional, (one, two, three)	निर्हयित करना To represent
दिष्ट Vector	निक्षिप्त करना To deposit
दीर्घच्छिद्र Slit	निक्षेप Deposit
दीर्घशृङ्खली यौगिक Long chain compound	न्याय Data
दीर्घित Elongated	पटल Film
दीप्तिमापन Photometry	पट्ट, पट्टी Band
दीर्घितता Orientation	पद Term
दीर्घरत Repetition	पदार्थ Material
द्रव्य Matter	पचभुज Pentagon
द्रुत Fast	परमाणवीय Atomic
द्वारक Aperture	परमाणु Atom
द्विपोंद Diode	परवलयी Parabolic
द्वितीयिक Secondary	पराय Range
धनाग्र Anode	परावर्तन Reflection
धब्बा Spot	परिकल्पना Hypothesis
धारामापी Galvanometer	परिणामित Resultant
ध्रुवण Polarisation	परिमाण Estimate
ध्रुवीय Polar	परिवर्तन Variation
नति (मुपाय) Tilt	परिष्कृष्टिण करना To develop (photo)
नम्य (लचीला) Flexible	परिगीमित Defined, limited
निपटवर्ती Adjacent	पाठ्याक Reading
नियमित Regular	पिंड-केंद्रीय Body-centred
नियामक Coordinate	पुनःप्रदायनीय Reproducible
निर्वाण (फलन) Function	पृष्ठ Surface
निर्गत Emergent	पृष्ठगत (पृष्ठ) Of surface
निर्वात Vacuum	पृष्ठभूमि Substrate, Background
निर्वातित Evacuated	प्रक्रिया Interaction
निर्गमन Elimination	प्रकाशमय Exposure (photo)

प्रकाशिकी Optics	फलन (नियोग) Function
प्रकीर्णन Scattering	बलक्षेत्र Field (of force)
प्रतिच्छाया-कोर Shadow-edge	बहुज (एकाधिक) Multiple
प्रतिच्छेद Intersection	बहुमणिभी Polycrystalline
प्रतिदीप्ति Fluorescence	"बारीक रचना—Fine-structure
प्रतिबंध Condition	बीयरिंग Bearing
—में ढीलन —, relaxation of	बेलन, फैराडे Faraday Cylinder
प्रतिरूपी typical	भौतिकी Physics
प्रतिलोम Reciprocal	मंद (इलैक्ट्रान) Slow (electrons)
प्रत्यास्थी Elastic	मणिभ Crystal
प्रत्यावर्ती Alternating	—, एकाकी —, single
पृथक्कृत Insulated	—, एचित —, etched
प्रदाय, उच्चविभव H. T. Source	मणिभ-वीक्षण Crystallography
प्रबलन Reinforcement	मणिभी Crystalline
प्रभावकारी Effective	—, बहु Polycrystalline
प्रमेय Theorem	महत्तम Maximum, maxima
प्ररूप Pattern	—, विवर्तन Diffraction
—, L- L- pattern	maxima
—, N- N- —	माडल Model
—, विस्तृत Extended pattern	मान्यता Postulate, supposition
—, बलय Ring pattern	मुद्रित Sealed
प्रामाणिक (मानक) Standard	—, वात- Airtight
प्रारोहित होना To overlap	मूलबिन्दु Origin
प्रायिक Probable	मूलात्मक Fundamental
प्रेरण-कुंडल Induction Coil	यदृच्छा से (यदृच्छतः) At random,
प्रेक्षण Observation	randomly
प्रेक्षित करना To Observe	यशद ब्लेंड Zinc Blende
फलक Face	यांत्रिकी, Mechanics
—, विदलन —, cleavage	युक्ति Device
फलक-केन्द्रीय Face-centred	योजना (संघान) तल-Set of planes

प्रेक्षित्र Relay	विरतता Discontinuity
रचना (गुणांक) Structure (factor)	विराम (मंहति) Rest (mass)
रूप Form	विलयन Solution
रूपान्तर Transformation	विलायक Solvent
रेडोन Radon	विलयन Dissolving
रॉक साल्ट Rock salt	विवर्तन Diffraction
लग p Log p	विवेचन Discussion
लावे अंक Laue numbers	विस्थापन Displacement
लिपिज Graphite	वियमता (वैषम्य) Discrepancy
लेपित Coated	विमर्ग (नली) Discharge tube
वक्र Curve, Curved	विनरित Diffuse
वर्ण Colour	विक्षेप Deflection
वर्तन Refraction	विक्षेपण Dispersion
वर्तनांक Refractive index	वैपरीत्य Conflict
चक्र Ring	वैषम्य (वियमता) Discrepancy
वर्णाप Fatty	व्यञ्जक Expression
विकृति Distortion	व्यतिकरण Interference
विकर्ण Diagonal	व्याख्या Explanation
विकल्प Alternative	दृग्म्या ० Sec ०
विकिरण Radiation	व्युत्पत्ति Derivation
विर्गमित Degassed	व्यूह (विन्दुओं वा) Array (of points)
विक्षेपण Deviation	
विद्युन्मापी Electrometer	व्यूह तट Net plane
विदलन (काटक) Cleavage (face)	शटर Shutter
विभव Potential	समन Suppression
—, गत ,, drop	सन्नात, तिरा Pencil of rays
—, आन्तरिक ,, inner	संशोधित Modified
विभवांतर Potential difference	श्रेणी Progression
विभेदना Resolving power	—, गुणांक Amplitude, p
विभेदकृति (विना) Biasing (action)	श्रेणी Series

स्थिरवैद्युत Electrostatic
 सरता या कटाक्षी (कोण) Glancing
 संगमन focussing
 सग्राही, फेराहे Faraday collector
 सघ Group, aggregate
 —, तरंगों का " of waves
 —वेग Group velocity
 सघात, तल—Set of planes
 संचरण Transmission
 संचलन Motion
 सघारित्र Condenser
 सन्निकटन Approximation
 संपाती Coincident
 संयोजन (जोड़) Joint
 संवेग Momentum
 सस्थिति Setting
 संहति Mass
 सम Even
 सममित Symmetrical
 सममिति Symmetry
 समपद्वकलक Parallelopiped
 समंजन करना To adjust
 समाग Homogeneous
 समांगिता Homogeneity

समांतर Parallel
 —"श्रेढी Arithmetic progression
 समांतरकखंड Collimating section
 समांतरीय Equidistant
 सर्वनिष्ठ Common (to all)
 साम्यकारी (समकारी) सघारित्र
 Smoothing condenser
 साम्यित (घारा) Smoothened
 (current)
 सामंजस्य Agreement
 सार्व, सार्वतः General (common)
 generally
 सुग्राही Sensitive
 सुविशिष्ट Selective
 सुस्पष्ट Pronounced
 मूल्यांक, मिलर Miller index
 सूक्ष्मतरतः (अल्प) Infinitesimally,
 (small)
 सूक्ष्मदीप्तिमापी Microphotometer
 स्फुल्लिग दूरी Spark gap
 स्नेहन Lubrication
 स्पटरन Sputtering
 स्वरूप Form, Model
 स्वेच्छित Arbitrary
 स्रोत (प्रदाय) Supply, source

नामानुक्रमणिका

रनोड, एफ. एल., ४२

स्ली, ए. जी., ७०

वाल्ड, पी. पी., ६६

हरेनवर्ग, डब्ल्यू., ९२

ककुची, एस, २३, २४, ५६

कचनर, एफ, ५०

क्वारल, ए. जी., ७३, १०१

जर्मर, एल. एच, १३, ५६, १७४

जैक्स, आर. ओ, ९५, १०१

टामसन, जी. पी.,

१७, २७, ४०, ७३, ७८, ८९

टिलमैन, जे. आर, २६, ५६, ७२

ट्रिब्लैट, जे. जे, ९९, १००

डरवी गायर, जे. ए., ५६

डाइमंड, ई. जी., ४२

डारविन, सी. जी., ६६

डिवाई, पी., १८, ४४

डेविसन, सी, १३, १६

दीक्षित, के. आर., ५६

पोण्टे, एम, २६

बुलड, ई. सी, ४२

बुग, एच, ८२

बेथे, एच, ५४, ६६

बीन, एम, ३६

ब्रैग, डब्ल्यू. एल., ९, २९

ब्रोगली, एल. डब्ल्यू., १, १७, ६६

फार्मवर्थ, एच. सी, ५५, ६३

फिच, जी. आई, ३५, ७३, ८६, १०१

फैक्सेन, एच, ४४

फैजर, सी. जी, ७८

मार्क, एच, ४०, ४६

मार्टिन, एल. सी, ८३

मुगिसन, सी. ए, ९७

मैमे, एच. डब्ल्यू., ४२

मोर्स, पी. एम, १७

मोट, एन. एफ, ३६

यामागुटी, टी, ५६, ६०, ७९

यीरियन, एच. जे, १०१

रामेस्योर, सी, ४२

रीड, ए, १७

रूप, ई, २६

लारस्व्यू, डब्ल्यू. ई, ६०, ६२

लार्क-हारोवित्ज, के, १०१

लावे, एम. वी, ६

लेबेडेव, ए. ए, ८२

वसंताप, वी. एल, २६

वाटसन, ई. ई, ४२

विलमैन, एच, ७३

वील, आर, ४०, ४६

वीनोहारा, के, ५६, ५९, ६९, ७०, ७३

वीरर, पी, १८

सोमरफैल्ड, ए, ५४

हार्डिंग, जे. डी, ६७

होल्त्समार्क, जे, ४४

होवे, जे. डी, १०१

ह्यूजेज, जे. वी, २७

